

**Vergleich der Methoden zur
Knochenalterbestimmung nach Greulich-Pyle
Tanner-Whitehouse und der Planimetrie
an Münchener Vorschulkindern**

Franz Xaver Kühnel

1977



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555626_0057

Aus der Kinderklinik der Universität München

Direktor : Prof. Dr. K. Betke

Vergleich der Methoden
zur
Knochenalterbestimmung
nach Greulich-Pyle
Tanner-Whitehouse
und der
Planimetrie
an Münchener Vorschulkindern

Inaugural Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von
Franz Xaver Kühnel
aus Otterfing

München 1978

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. O. Butenandt

Mitberichterstatter: Prof. Dr. K. Betke

Dekan: Prof. Dr. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 11.4. 1977



Meinem Vater
in dankbarer Erinnerung

Bei der vorliegenden Arbeit wurden Röntgenaufnahmen der Hände von gesunden Kindern ausgewertet. Diese Röntgenaufnahmen wurden vor in Kraft treten der Strahlenschutzverordnung durchgeführt. Sie wurden von anderer Seite (außerhalb des Einflusses der Universitäts-Kinderklinik) veranlaßt. Diese Dissertation stützt sich ausschließlich auf diese vorhandenen Röntgenaufnahmen und Daten.

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	Seite 1
Literaturübersicht	2
Material und Methode	6
Untersuchungen - Ergebnisse	17
Varianzanalysen	18
Differenzbildung aus Kalenderalter und Methodenalter	21
Differenzbildung aus Längenalter und Methodenalter	26
Differenzbildung aus Gewichtsalter und Methodenalter	32
Korrelations- und Regressionsbe- rechnung	34
Diskussion	87
Zusammenfassung	110
Literaturverzeichnis	115

E I N L E I T U N G

Die Skeletalterbestimmung hat wegen des engen Zusammenhangs von Ossifikation und Gesamtreifung des Organismus eine große praktische Bedeutung. Skeletalterbestimmungen sind ein objektives Kriterium zur Feststellung des Reifungsstandes. Mit Hilfe des Knochenalters können Aussagen über die zu erwartende endgültige Körpergröße gemacht werden. Aber auch Entwicklungsaberrationen genetischer, endokriner und exogener Herkunft sind damit zu erfassen. Für zahlreiche Erkrankungen, besonders jene aus dem Gebiet der pädiatrischen Endokrinologie, sind Skeletalterschätzungen sowohl in diagnostischer Hinsicht, als auch therapeutischer Konsequenz von maßgebender Bedeutung.

Zur Skeletalterschätzung wurden unterschiedliche Verfahren entwickelt. Zu unterscheiden sind numerische (Elgenmark 1946; 14), morphologische (Greulich - Pyle 1950; 21, 22, 23) (Tanner - Whitehouse 1962; 65, 66, 67) und metrische Methoden (Planimetrie; 15).

Diese Arbeit hat sich zur Aufgabe gestellt, die morphologischen mit der metrischen Methode, der Planimetrie, zu vergleichen. Das numerische Verfahren ist hier nicht berücksichtigt, weil es heute keine Bedeutung mehr besitzt.

LITERATURÜBERSICHT

Die Anfänge der systematischen Skelettalterbestimmungen liegen in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Vorwiegend die Anatomen (u. a. Gruber 1866; 24 ; Pfitzner 1895; 40) nahmen sich dieses Forschungsgebietes an. Auf Grund der minimalen Größen der Ossifikationskerne kamen sie zu recht unterschiedlichen Ergebnissen. Die Anlage der Kerne wurde vom ersten (Gegenbauer; Kölliker; Henle) bis ins dritte Lebensjahr (Rambaud; Renault 1896; 47) datiert.

Eine völlig neue Ära leitete die Entdeckung der Röntgenstrahlen ein, da mit ihrer Hilfe die Ossifikationsvorgänge am lebenden Menschen dargestellt werden konnten. Von Ranke (1898; 48) wies als erster auf die Bedeutung der Ossifikationsvorgänge bei der Altersbestimmung eines Kindes hin. Aber auch Störungen der Ossifikation wurden bald mit Hilfe der Röntgenstrahlen erkannt und beschrieben (Stettner; 61). Munk (1927; 38) veröffentlichte ein erstes übersichtliches Tabellenwerk über die Größenentwicklung der sekundären Ossifikationszentren. Eine Zusammenfassung aller Ergebnisse aus dieser Zeit brachte der Atlas von Siegert (1935; 59).

Die wertvollen Ansätze der Skelettreifeforschung in Deutschland gerieten bald gegenüber den der Vereinigten Staaten von Amerika ins Hintertreffen, wo diese mächtig vorangetrieben wurden. Pryor (1907; 42) betrachtete die Handwurzelkerne schon als Reifeindikatoren. Long und

Caldwell (1911) haben als erste den Versuch unternommen, mit Hilfe der Skelettreifung die Erwachsenengröße vorherzubestimmen. Rotch (1908; 53) entwickelte eine erste Schätzmethode, Bardeen (1921; 6) verfeinerte den Differenzierungsmaßstab. Wichtige Arbeiten wurden von Todd (1937; 71) und Flory (1936; 16) veröffentlicht, wobei sich letzterer vorwiegend um die Beziehung zum Gesamtskelett bemühte.

In der Wahl der Schätzmethoden zeichneten sich erste Grundzüge ab. Amerikanische Autoren begründeten früh die morphische Beurteilung der Handskelettentwicklung und bauten sie aus. Das war möglich, weil nicht nur Kliniker, sondern auch Anatomen, Anthropologen, Pädiater und Psychologen sich der röntgenologischen Handskelettbeurteilung annahmen. So wird der Vorsprung der nordamerikanischen Forscher auf diesem Gebiet erklärbar.

Es wurden eine große Zahl unterschiedlicher Methoden zur Skelettreifungsbeurteilung entwickelt. War einmal der Erscheinungspunkt der Ossifikationskerne von Bedeutung (Flecher 1942; Pyle-Sontag 1948; 44; 1939; 60 ; Stuart - Stevenson 1954; 62), stand dann wieder die Zahl der gegenwärtigen Kerne im Vordergrund (Sontag; Snell; Anderson 1939; 60; Acheson 1954; 1). Immer mehr an Wert gewann jedoch das Kombinationsbild, also Erscheinungszeitpunkt, Zahl, Größe und Form der Knochenkerne. Darauf basiert letztlich die Schätzmethode von Greulich und Pyle (1950; 21), welche den Todd-Atlas der Skelettreife ausbauten und verbesserten. Eine zweite Auflage des Werkes wurde

1959 veröffentlicht, ein für die Ossifikationsaltersbestimmung unentbehrliches Werkzeug.

Eine Fortführung der Methode von Acheson 1954 (1) erbrachte die Arbeit von Tanner, Whitehouse und Mitarbeitern (65; 66; 67). Diese wählten die einzelnen Kerne mittels eines Punktsystems und kommen dadurch zu einer kontinuierlichen Verteilung. Eine Verbesserung des Score-Systems von 1962 stellt die Ausgabe von 1972 dar.

Zusätzlich zu diesen morphischen Methoden entwickelte Elgenmark 1946 (14) ein numerisches Verfahren, bei dem alle sekundären Ossifikationszentren einer Körperhälfte gezählt werden. Wegen des großen Aufwandes (Röntgenuntersuchung einer ganzen Körperhälfte) und der damit verbundenen erheblichen Strahlenbelastung des wachsenden kindlichen Organismus konnte sich diese Methode jedoch nicht durchsetzen.

Zu unterscheiden davon ist die Skelettalterschätzung nach den Age-of-appearance-Listen mit Angabe des Knochenalters nach den zuletzt erschienenen Ossifikationskernen. Die beste Anweisung für ein solches Verfahren wurde von Garn, Rohman und Silverman (1967; 19) erarbeitet.

Nur eine untergeordnete Rolle spielten bislang metrische Verfahren. 1926 führte Carter (11) als einer der ersten die Planimetrie für die Skelettalterschätzung ein. Auch Baldwin (1928; 5) legte seinen ausführlichen Studien die Knochenkernprojektionsfläche zugrunde. Später wurde versucht, die Methode zu vereinfachen, indem nur Länge

oder Breite, aber auch beides (sogenannter Flächenindex) gemessen wurden (Schmid und Moll; 56; Schulte-Brinkmann und Konrad 1963; 57).

Bugyi (10) sah zwischen planimetrisch ermittelter Fläche des Knochenkernes und dem Lebensalter einen linearen Zusammenhang. Dies trifft nicht immer zu. Fendel (1965; 15) wies auf die Bedeutung der Planimetrie bei Kontrollen der Skelettalter nach kurzen Zeitintervallen hin.

In jüngster Zeit versuchte man, die Verfahren der Skelettalterbestimmung durch Wichtung und Reduktion der Ossifikationszentren zu vereinfachen, ohne an Aussagekraft zu verlieren; denn oft ist der mangelhafte Gebrauch des diagnostischen Hilfsmittels "Ossifikationsalter" auf die zeitraubenden Verfahren zurückzuführen. Auch in dieser Hinsicht will diese Arbeit Vorschläge anbieten.

MATERIAL und METHODE

M a t e r i a l :

Bei dem untersuchten Material handelt es sich um Röntgenbilder beider Hände von Vorschulkindern aus verschiedenen Kindergärten Münchens (Kindergarten St. Willibald; Kindergarten Haslangstraße; Kindergarten an der Neuberghauserstraße) sowie Kindern der ersten Grundschulklasse (Gebele-Schule).

Ausgewertet wurden die Röntgen-Aufnahmen von 228 Kindern, 136 männlichen und 92 weiblichen Geschlechtes. Als Grundlage für die statistischen Berechnungen galt das Gesamtkollektiv der 228 Kinder. Das Knochenalter wurde für Knaben und Mädchen getrennt nach den geschlechtsspezifischen Daten bestimmt. Beim Vergleich der Methoden untereinander jedoch wurden die Knochenalter ohne Berücksichtigung des Geschlechtes herangezogen. Durch eine Aufteilung des vorhandenen Materials in Knaben und Mädchen hätte sich die Zahl der untersuchten Knochenkerne zu stark reduziert. Die geschlechtsspezifischen Unterschiede der Ossifikationskerne sind bekannt. Sie haben keine Bedeutung in diesem Methodenvergleich.

Das Kalenderalter der Kinder zum Zeitpunkt der Röntgenuntersuchung betrug 3.5 bis 8.5 Jahre. Dabei zählte das jüngste Mädchen 42, der jüngste Knabe 47 Lebensmonate. Das älteste Mädchen war 104, der älteste Bub 91 Monate alt. Im Durchschnitt waren die meisten Kinder fünf und sechs Jahre, also 60 bis 72 Monate alt (Abbildung 1).

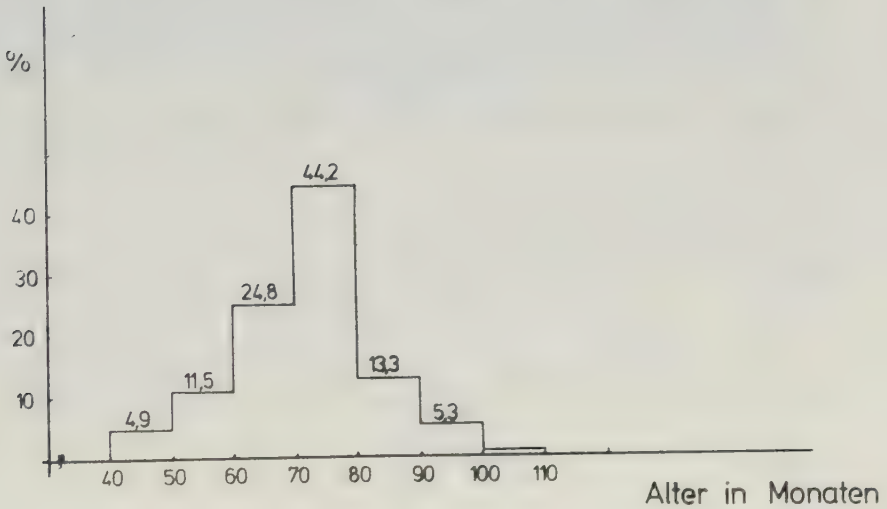


Abb. 1 : Häufigkeitsverteilung des Lebensalters der untersuchten Kinder in Monaten.
Die Verteilung zeigt im Altersbereich von sechs Jahren mit 44.2% einen Häufigkeitsgipfel.

Die Größe der Kinder lag zwischen 90 und 140 cm, wobei der längste Junge 129.5 cm und das größte Mädchen 131 cm lang waren. Die geringsten Körperlängen waren 98 cm bei einem Mädchen und 93 cm bei einem Knaben. Im Mittel scharten sich die häufigsten Körpergrößen um einen Wert von 115 cm (siehe Abbildung 2).

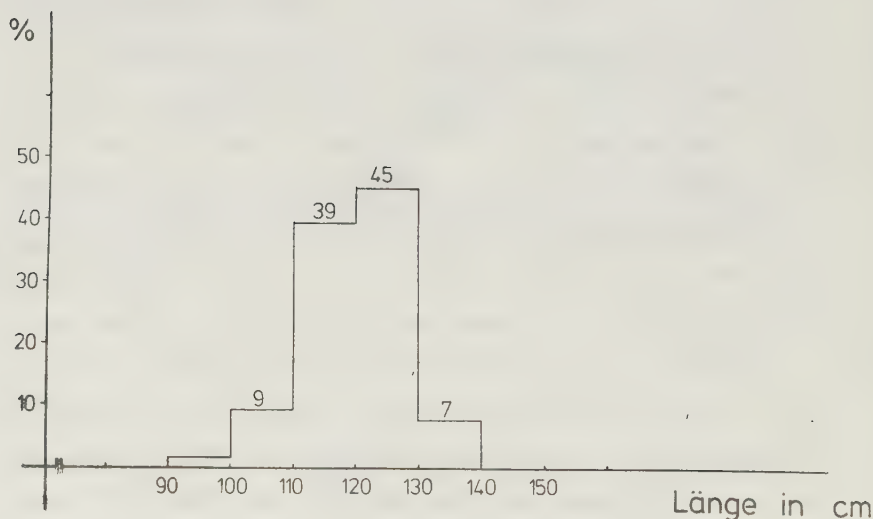


Abb. 2 : Häufigkeitsverteilung der Körperlänge der untersuchten Kinder in cm.

Die Verteilung zeigt im Größenbereich von 110 cm bis 130 cm einen sehr schmalen Häufigkeitsgipfel.

Das Gewicht der untersuchten Kinder zeigte eine Spanne von 12 kg bis 28 kg. Das geringste Körpergewicht betrug bei einem Knaben 12.5 kg, bei einem Mädchen 14.6 kg. Das größte Gewicht war bei einem Mädchen 28 kg, bei einem Jungen 27.6 kg (siehe Abbildung 3).

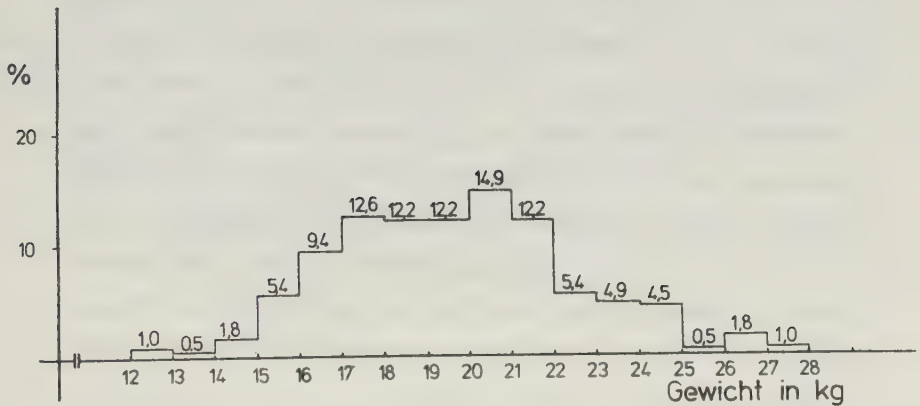


Abb. 3 : Häufigkeitsverteilung des Körpergewichtes der untersuchten Kinder in kg.

Ein breiter Gipfel zeigte sich im Gewichtsbe-
reich zwischen 17 kg und 22 kg.

Bei der untersuchten Gruppe handelt es sich sicherlich um einen altersentsprechenden Querschnitt in Bezug auf Größe und Gewicht, also um normale Kinder ohne Hinweis auf krankhafte Störungen. Wir versuchten, dem "Normalbegriff" Stettners (61) zu entsprechen, indem wir den Durchschnitt einer möglichst einheitlichen Menschengruppe wählten, also einheitlich nach Alter, Geschlecht, Rasse, geographischem Herkommen und Aufwuchsbedingungen.

Der Vergleich mit anerkannten und in der Praxis gebräuchlichen Zusammenstellungen der Normwerte für Körperlänge und Körpergewicht bestätigt auch, daß es sich um ein normales Kollektiv handelt. Die meisten Abweichungen vom altersentsprechenden Mittelwert von Körpergröße und Körpergewicht liegen innerhalb der 3- und 97- Perzentile (siehe Abbildungen 4 - 7). Die graphischen Darstellungen sind nach den Somatogrammen von Vogt und den Kurven von Tanner (68, 74), die an der Universitätskinderklinik München verwendet werden, erstellt worden.

Über die wenigen Kinder, welche aus dem Normbereich herausfallen, also entweder zu klein oder zu groß sind, konnten keine Angaben über die Ursachen dieser Abweichung in Erfahrung gebracht werden.

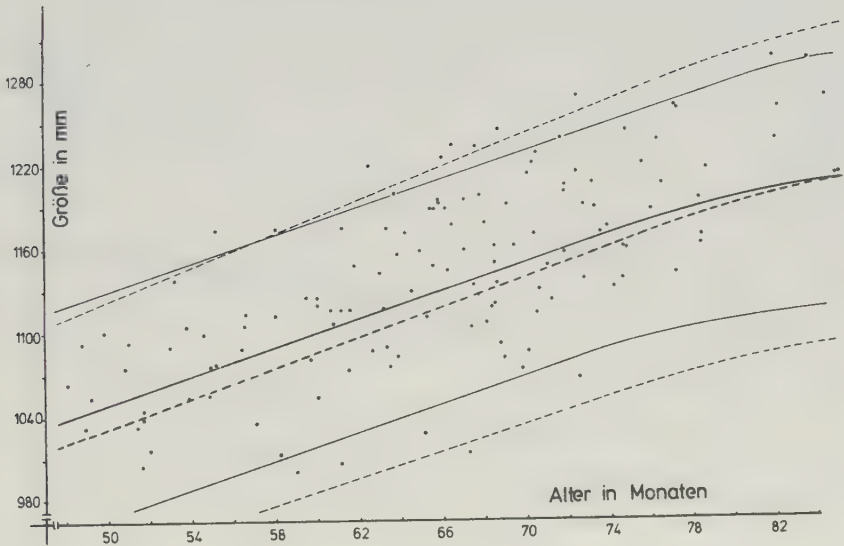


Abb. 4 : Somatogramm in Form einer graphischen Darstellung für die Größe in mm bei Knaben.

Die Darstellung zeigt, daß die meisten Punkte zwischen der 3- und 97-Perzentile liegen (untere und obere fein ausgezogene Linie).

Die ausgezogenen Linien entsprechen den Angaben von Vogt, während die unterbrochenen Linien denen von Tanner entnommen sind.

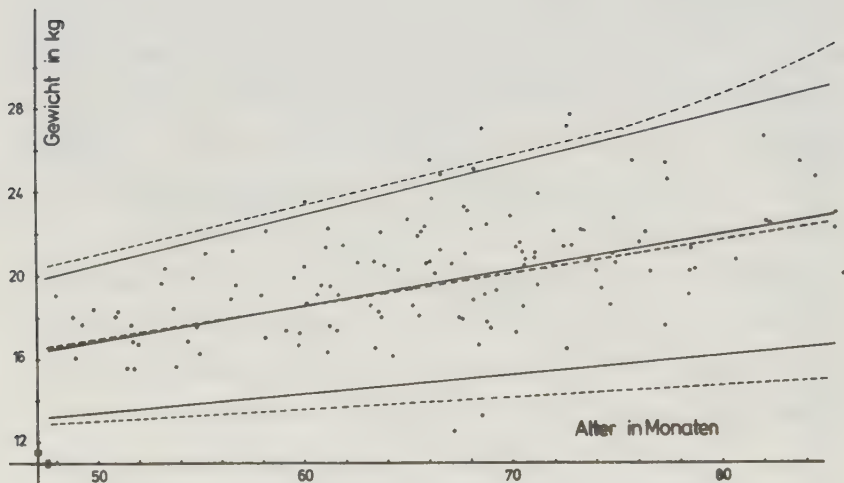


Abb. 5 : Somatogramm in Form einer graphischen Darstellung für das Gewicht in kg bei Knaben. Die Darstellung zeigt, daß die meisten Punkte zwischen der 3- und 97-Perzentile liegen (untere und obere fein ausgezogene Linie). Die ausgezogenen Linien entsprechen den Angaben von Vogt, während die unterbrochenen Linien denen von Tanner entnommen sind.



Abb. 6 : Somatogramm in Form einer graphischen Darstellung für die Größe in mm bei Mädchen. Die Darstellung zeigt, daß die meisten Punkte zwischen der 3- und 97-Perzentile liegen (untere und obere fein ausgezogene Linie). Die ausgezogenen Linien entsprechen den Angaben von Vogt, während die unterbrochenen Linien denen von Tanner entnommen sind.

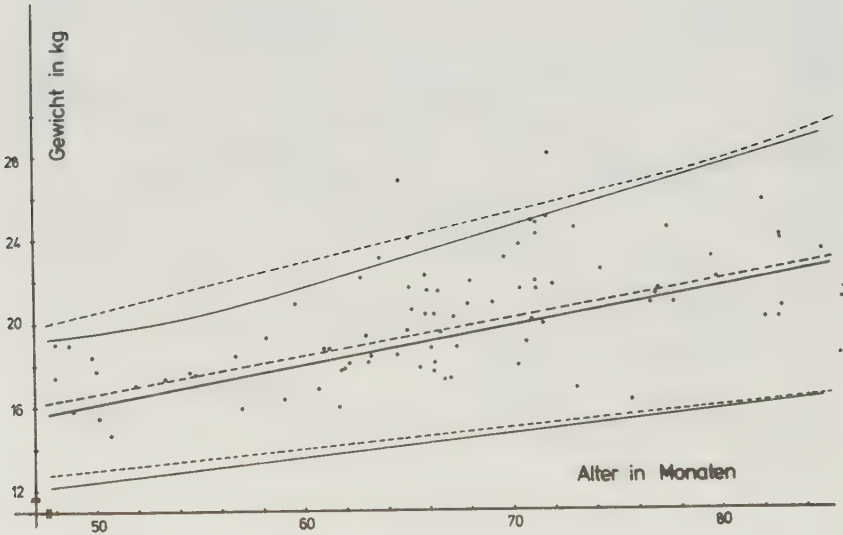


Abb. 7 : Somatogramm in Form einer graphischen Darstellung für das Gewicht in kg bei Mädchen. Die Darstellung zeigt, daß die meisten Punkte zwischen der 3- und 97-Perzentile liegen (untere und obere fein ausgezogene Linie). Die ausgezogenen Linien entsprechen den Angaben von Vogt, während die unterbrochenen Linien denen von Tanner entnommen sind.

M e t h o d e :

Drei Verfahren der Ossifikationsalterbestimmung wurden bei diesem Vergleich verwendet, nämlich die zwei morphischen Verfahren nach Greulich und Pyle sowie Tanner-Whitehouse und die metrische Methode, die Planimetrie.

Bei der Methode von Greulich-Pyle wurde der Atlas von 1959 verwendet und dabei das "bone-specific-bone-age" der 29 Knochenkerne geschätzt. Es ergab sich - für Mädchen und Knaben getrennt - ein angegebener Standard, welcher einer Zeitspanne entspricht. Aus den 29 Standards wurde der Medianwert gebildet, der angibt, daß die eine Hälfte der Standards jünger, die andere Hälfte älter ist. Dieser Medianwert ging als geschätztes Ossifikationsalter in die Berechnung ein.

Das Score-System von 1962 lag bei der Auswertung der zweiten Schätzmethode, nämlich der von Tanner-Whitehouse zugrunde. Die Autoren haben ein Punktsystem entwickelt, in dem jeder Knochenkern mit einer Punktzahl gewichtet wird. Im Gegensatz zu Greulich-Pyle werden hier nur 20 Knochenkerne berücksichtigt. Tanner-Whitehouse trennen in einen Epiphysen- und Carpalia-Score. Durch Addition beider entsteht ein Gesamt-Score, dessen Punktzahl in das dazugehörige Ossifikationsalter umgesetzt wird.

Die planimetrische Methode geht nicht wie die vorherigen nach rein morphischen Kriterien vor, sondern sucht mittels einer Messung zu einer Aussage über das Knochenalter zu kommen. Ausgewertet werden die Handwurzelkerne, sowie die im Handwurzelbereich liegenden Epiphysen.

Die Zahl der zu untersuchenden Knochenkerne beträgt somit zehn. Nach Vergrößerung der Fläche der Ossifikationszentren wird diese durch das Planimeter bestimmt. Bei standardisierter Einstelltechnik wird die Tiefenausmessung vernachlässigt. Aus den Projektionsflächen ergibt sich für jeden Knochenkern aus interpolierten Tabellen das jeweilige Alter. Der Mittelwert der zehn Einzeldaten wird als das Knochenalter verwendet.

Mit einbezogen in die statistischen Berechnungen wurde auch das Längen- und Gewichtsalter. Bei diesen Größen handelt es sich um sehr wertvolle klinische Begriffe zur Beurteilung von Länge und Gewicht. Aus einem genügend grossen Normkollektiv wurde für jede Altersgruppe die mittlere Grösse beziehungsweise das Gewicht einschließlich der Standardabweichung ermittelt. Aus gewonnenem Zahlenmaterial wurde durch Interpolation ein kontinuierliches Tabellenwerk erstellt. Aus dem umgekehrten Weg, indem von Grösse bzw. Gewicht rückgeschlossen wurde, wurde ein "Längenalter" bzw. "Gewichtsalter" bestimmt. Dies ist zwar statistisch ein nicht ganz einwandfreies Verfahren, für den klinischen Gebrauch jedoch ein gangbarer Weg.

UNTERSUCHUNGEN - ERGEBNISSE

Nach Ermittlung der Ossifikationsalter mittels der beschriebenen Methoden erfolgte die statistische Bearbeitung der Daten am Institut für Medizinische Datenverarbeitung der Technischen Universität München (Leitung Professor Dr. med. H.J. Lange).

Aus den ersten Berechnungen - der Varianzanalyse - wurde der Mittelwert, die Standardabweichung, Konfidenz-Bereich und Schiefe der Verteilung gewonnen. Ferner wurde die Differenz der entsprechenden Methodenalter mit dem Kalendarialter, bzw. Längen- und Gewichtsalter gebildet.

Allen diesen Berechnungen lag die Auswertung des Handskelettes aus 209 Fällen⁺ zugrunde. Als Mittelwert verwendeten wir das arithmetische Mittel nach der Formel

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (\bar{x} = \text{Mittelwert}; n = \text{Fallzahl}).$$

Die Standardabweichung s, ein Maß für die Streuung um dieses arithmetische Mittel wurde nach der Formel

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{errechnet.}$$

Zusätzlich Berücksichtigung fand der Konfidenz-Bereich, wobei das Konfidenz-Niveau bei 99% liegt, entsprechend einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0.01$.

Letzter Begriff ist die Schiefe der Verteilung. Hier wird das Abweichen der Verteilung von der Normverteilung in horizontaler Richtung gemessen. Im Wort "Normverteilung" steckt jedoch eine gewisse Problematik, weil in ihm eine billigende Wertung angedeutet wird. Dennoch ist dieser Begriff in der Statistik üblich.

⁺ 19 Röntgenbilder wurden wegen filmtechnischer Fehler nicht berücksichtigt.

Eine Verteilung wird als positiv schief bezeichnet, wenn der "längere Schwanz" rechts von der modalen Klasse, das heißt der Klasse mit der größten Besetzung, liegt, als negativ schief, wenn Umgekehrtes der Fall ist.

Eine Variante der Berechnungen stellt die Bildung der Differenz aus Methodenalter mit dem Kalenderalter, bzw. Längen- und Gewichtsalter dar. Bei einigermaßen guter Übereinstimmung ergibt sich aus dem Mittelwert dieser Differenz eine Annäherung an den Nullpunkt. Bei großen Unterschieden zum Kalenderalter zeigt sich ein weites Abrücken von diesem Idealwert.

V a r i a n z a n a l y s e :

Aus 209 Einzeldaten, die über die beschriebenen Methoden gewonnen worden sind, wurde zunächst der Mittelwert errechnet. Das Ergebnis ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung des planimetrischen Ossifikationsalters mit dem Kalenderalter. Die Methode Greulich-Pyle schätzt das Knochenalter niedriger ein, während bei Tanner-Whitehouse umgekehrtes Verhalten deutlich ist. Die Längen- und Gewichtsalter stimmen ebenfalls recht gut mit dem Kalenderalter bzw. planimetrischen Knochenalter überein.

Die Standardabweichung (siehe Tabelle 2), das Maß der mittleren Abweichung vom Mittelwert, zeigt bei allen drei Methoden Abweichungen in derselben Größenordnung. Die errechneten Unterschiede sind statistisch signifikant bei $p = 0.01$. Die Planimetrie, sowie die Methode von Tanner- Whitehouse hat die größte Streubreite.

<u>Mittelwert in Monaten</u>		<u>Konfidenzbereich</u>	
KA	66.5	64.8	- 68.3
Pl	67.6	64.8	- 70.0
Gr	58.3	56.3	- 60.3
Ta	72.9	69.9	- 75.9
Lä	67.7	65.4	- 70.0
Ge	65.3	62.0	- 67.5

Tabelle 1 : Darstellung der Mittelwerte ($n = 209$)
aus den verschiedenen Methodenaltern und
ihrer Konfidenzbereiche für $p = 0,01$
in Monaten.

KA = Kalenderalter;

Pl = planimetrisches Knochenalter;

Gr = Knochenalter nach Greulich-Pyle;

Ta = Knochenalter nach Tanner-Whitehouse;

Lä = Längenalter;

Ge = Gewichtsalter

KA ± 9.8

Pl ± 15.7

Gr ± 10.9

Ta ± 16.5

Lä ± 12.7

Ge ± 12.9

Tabelle 2 : Darstellung der Standardabweichung ($n = 209$)
aus den verschiedenen Methodenaltern in Mona-
ten ($p = 0.01$).

Über Symmetrie oder Assymmetrie einer Verteilung gibt die Schiefe Auskunft. Tabelle 3 zeigt, daß die gewonnenen Verteilungen gut symmetrisch sind.

KA	+ 0.3
Pl	+ 0.2
Gr	- 2.2
Ta	+ 0.2
Lä	- 0.1
Ge	- 0.2

Tabelle 3 : Schiefe der Verteilung ($n = 209$; $p = 0.01$)

Die Untersuchungen bei diesen Varianzanalysen wurden für beide Hände, also rechts und links durchgeführt. Dabei zeigt sich kein Unterschied im Mittelwert und in der Standardabweichung (Tabelle 4). Die Zahlenangaben verdeutlichen, daß sich nur unwesentliche Abweichungen ergeben.

	Li Hand	Re Hand
KA	66.5 (± 9.8)	
Pl	67.6 (± 15.7)	67.1 (± 15.8)
Gr	58.3 (± 10.9)	58.1 (± 10.8)
Ta	72.9 (± 16.5)	72.5 (± 16.5)
Lä	67.7 (± 12.8)	
Ge	65.2 (± 12.9)	

Tabelle 4 : Mittelwert und Standardabweichung der verschiedenen Knochenalter im Rechts - Links Vergleich ($n = 209$; $p = 0.01$)

Die Übereinstimmung zwischen den beiden Händen ist so gut, daß bei der weiteren Auswertung nur eine Hand zugrunde gelegt wird. Vereinbarungsgemäß wurde die linke Hand verwendet.

Differenzbildung aus dem
Kalenderalter und den einzelnen Methodenaltern

Bei der Betrachtung der gebildeten Mittelwerte aus der Differenzrechnung zwischen Methodenalter und Kalenderalter zeigt sich, daß die einzelnen Verteilungen ganz unterschiedlich gelagert sind (Abbildung 8; Tabelle 5). Die Verteilung der Differenz Knochenalter nach Tanner-Whitehouse und Kalenderalter ist nach rechts verschoben. Dies bedeutet, daß das geschätzte Knochenalter nach Tanner-Whitehouse gegenüber dem Kalenderalter zu hoch ist. Eine Differenz aus beiden ($A_{Ta} - A_{KA}$ größer 0) verursacht somit eine Verschiebung in den positiven Bereich der Graphik.

Die Methode nach Greulich-Pyle verhält sich umgekehrt. Es kommt eine mittlere Abweichung der Verteilung nach links zur Darstellung. Dies ist ein Hinweis dafür, daß diese Art der Ossifikationsalterbestimmung gegenüber dem Kalenderalter unterschätzt.

Die Verteilung der dritten in diesem Vergleich zur Anwendung gekommenen Methode zur Knochenalterbestimmung, die Planimetrie, schlägt einen Mittelweg ein. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit der Verteilung des Kalenderalters.

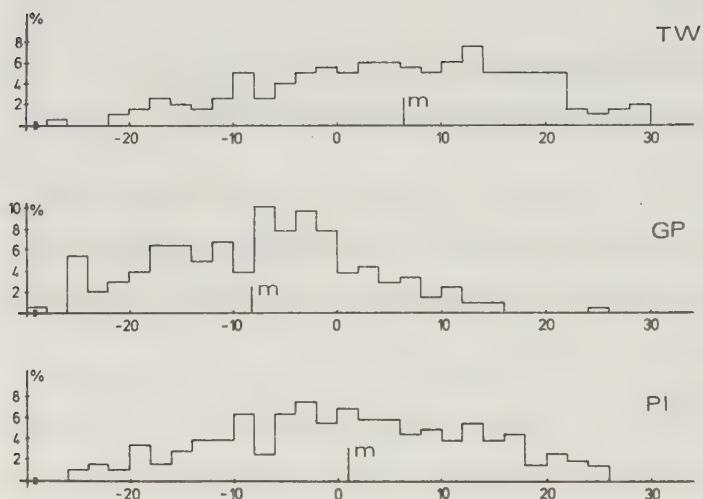


Abb. 8 : Histogramm aus der Differenz von Methodenalter
und Kalenderalter ($A_{\text{Methode}} - A_{\text{Kal. A}}$)
($n = 209$); linke Hand; m = Zentralwert

Die Darstellung oben zeigt die Rechtsverschiebung bei Tanner-Whitehouse, während bei Greulich-Pyle (mittleres Histogramm) entgegengesetztes Verhalten zu beobachten ist. Das planimetrische Knochenalter (untere Verteilung) weist eine recht symmetrische Verteilung um den Mittelpunkt auf.

Pl	-	KA	1.1
Gr	-	KA	-8.2
Ta	-	KA	6.3

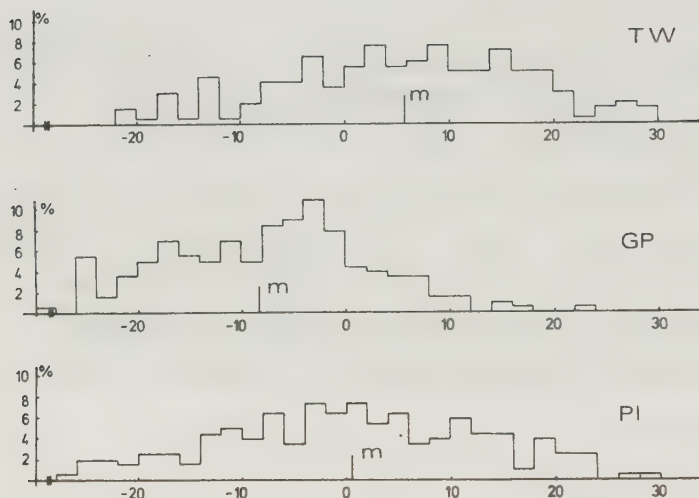
Tabelle 5 : Mittelwerte, gebildet aus der Differenz von Methoden- und Kalenderalter ($n = 209$)

Die statistische Prüfung der Differenzen mit dem Kalenderalter erbringt unterschiedliche Ergebnisse. So zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen Planimetrie und Kalenderalter, während ein signifikanter Unterschied zum Methodenalter von Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse besteht ($p \approx 0.01$).

Pl	-	KA	12.7
Gr	-	KA	10.5
Ta	-	KA	13.3

Tabelle 6 : Standardabweichung, gebildet aus der Differenz von Methoden- und Kalenderalter ($n = 209$)
($p \approx 0.01$)

Die Standardabweichung (Tabelle 6) zeigt bei der Differenzbildung für alle Methoden ähnliche Größenverhältnisse. Die breiteste Streuung ergibt sich bei der Methode mit Tanner-Whitehouse, die geringste mit der Methode Greulich-Pyle. Die metrische Knochenalterschätzung liegt zwischen beiden. Die Unterschiede sind mit $p \approx 0.01$ signifikant.



Abh. 9 : Histogramm aus der Differenz von Methodenalter und Kalenderalter ($A_{\text{Methode}} - A_{\text{Kal.A}}$) ($n = 209$); rechte Hand; m = Zentralwert

Die Darstellung zeigt die Rechtsverschiebung bei Tanner-Whitehouse (oberes Diagramm). Bei Greulich-Pyle (mittleres Histogramm) ist entgegengesetztes Verhalten zu beobachten. Das planimetrische Knochenalter (untere Verteilung) weist eine recht symmetrische Verteilung um den Mittelpunkt auf.

Pl	-	KA	3.6
Gr	-	KA	-1.4
Ta	-	KA	8.0

Tabelle 7 : Schiefe der Verteilung, die aus der Differenz-
 bildung von Methodenalter und Kalenderalter
 $A_{\text{Meth}} - A_{\text{KA}}$ gewonnen wurde ($n = 209$; $p = 0.01$).

Die Schiefe beschreibt die Symmetrie oder Assymmetrie eines Kurvenverlaufes. Die Verteilungen, welche aus der Differenzbildung von Methodenalter und Kalenderalter entwickelt wurden, sind unterschiedlich gelagert. Der Kurvenverlauf aus der Differenz von Methode Tanner-Whitehouse und Planimetrie mit dem Kalenderalter ist rechts schief. Gegensätzlich dazu zeigt sich das Histogramm aus der Differenz von Methode Greulich-Pyle und Kalenderalter links schief.

Differenzbildung aus dem
Längenalter und den einzelnen Methodenaltern

Die gebildeten Mittelwerte aus der Differenzrechnung von Methodenaltern und dem Längenalter zeigen, daß die einzelnen Verteilungen sehr ähnlich denen des Kalenderalters sind (Abbildung 10; Tabelle 7). Die Verteilung der Differenz Knochenalter nach Tanner-Whitehouse und Längenalter ist nach rechts verschoben. Das heißt, daß das geschätzte Knochenalter nach Tanner-Whitehouse gegenüber dem Längenalter zu hoch ist. Eine Differenz aus beiden ($A_{TA} - A_{Lä}$ größer 0) verursacht eine Verschiebung in den positiven Bereich der Graphik.

Die Methode nach Greulich-Pyle verhält sich umgekehrt. Es kommt eine mittlere Abweichung der Verteilung nach links zur Darstellung. Diese Art der Ossifikationsalterbestimmung unterschätzt also gegenüber dem Längenalter.

Die planimetrische Methode zeigt eine gute Übereinstimmung mit der Verteilung des Längenalters.

Pl	-	Lä	-4.8
Gr	-	Lä	-9.4
Ta	-	Lä	5.2

Tabelle 8 : Mittelwerte, gebildet aus der Differenz
von Methodenalter und Längenalter ($n = 209$)

Die statistische Prüfung der Differenzen mit dem Längenalter erbringt die unterschiedlichen Ergebnisse, welche auch mit dem Kalenderalter bestanden. So zeigt sich zwischen der Planimetrie und dem Längenalter kein signifikanter Unter-

schied, während er jedoch zum Methodenalter von Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse besteht ($p \approx 0.01$).

Pl - LÄ 11.7

Gr - LÄ 11.3

Ta - LÄ 12.8

Tabelle 9 : Standardabweichung ($n = 209$), gebildet aus der Differenz von Methodenalter und Längenalter ($p \approx 0.01$).

Die Standardabweichung (Tabelle 9) zeigt bei der Differenzbildung für alle Methoden ähnliche Größenverhältnisse. Die breiteste Streuung ergibt sich bei der Methode mit Tanner-Whitehouse, die geringste mit der Methode Greulich-Pyle. Das metrische Verfahren liegt zwischen beiden. Die Unterschiede sind mit $p \approx 0.01$ signifikant.

Pl - LÄ 0.3

Gr - LÄ 0.2

Ta - LÄ 0.3

Tabelle 10 : Schiefe der Verteilung, die aus der Differenzbildung von Methodenalter und Längenalter gewonnen wurde ($n = 209$; $p = 0.01$).

Die Tabelle 10 zeigt, daß die Verteilungen aus der Differenzbildung von Methodenalter und Längenalter ($A_{\text{Meth}} - A_{\text{LÄ}}$) recht symmetrisch sind.

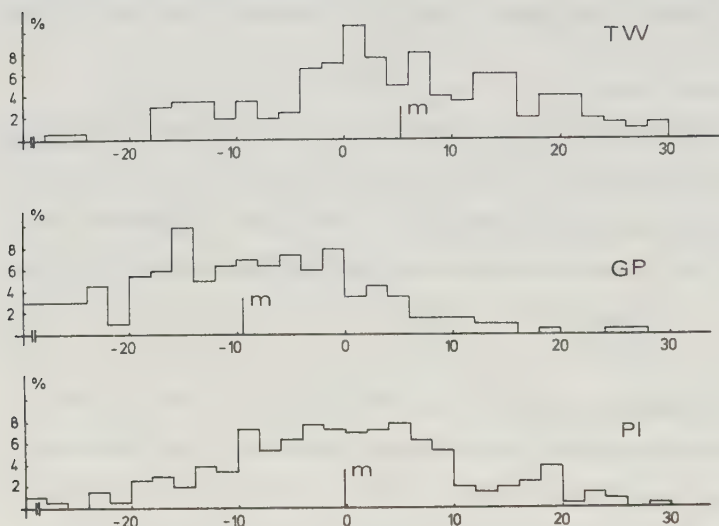


Abb. 10 : Histogramm aus der Differenz von Methodenalter und Längenalter ($A_{\text{Meth}} - A_{\text{Lä}}$); Zahlenangabe in Monaten ($n = 209$); linke Hand; m = Zentralwert

Die Darstellung zeigt die Rechtsverschiebung bei Tanner-Whitehouse (oberes Diagramm). Bei Greulich-Pyle (mittleres Diagramm) wird entgegengesetztes Verhalten beobachtet. Es zeigt sich eine Linksverschiebung. Das planimetrische Knochenalter (untere Verteilung) führt zu einer guten Übereinstimmung mit der Verteilung des Längenalters, was durch das symmetrische Bild des Histogramms um den Mittelpunkt aufgezeigt wird.

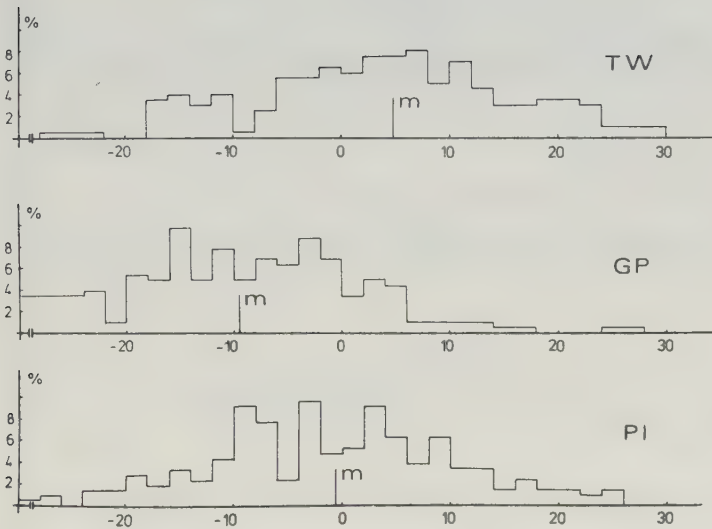


Abb. 11 : Histogramm aus der Differenz von Methodenalter und Längenalter ($A_{\text{Meth}} - A_{\text{Lä}}$); Zahlenangabe in Monaten ($n = 209$); rechte Hand; m = Zentralwert

Die Darstellung zeigt die Rechtsverschiebung bei Tanner-Whitehouse (oberes Diagramm). Bei Greulich-Pyle (mittleres Diagramm) wird entgegengesetztes Verhalten beobachtet. Es zeigt sich eine Linksverschiebung. Das planimetrische Knochenalter (untere Verteilung) führt zu einer guten Übereinstimmung mit der Verteilung des Längenalters, was durch das symmetrische Bild des Histogramms um den Mittelpunkt aufgezeigt wird.

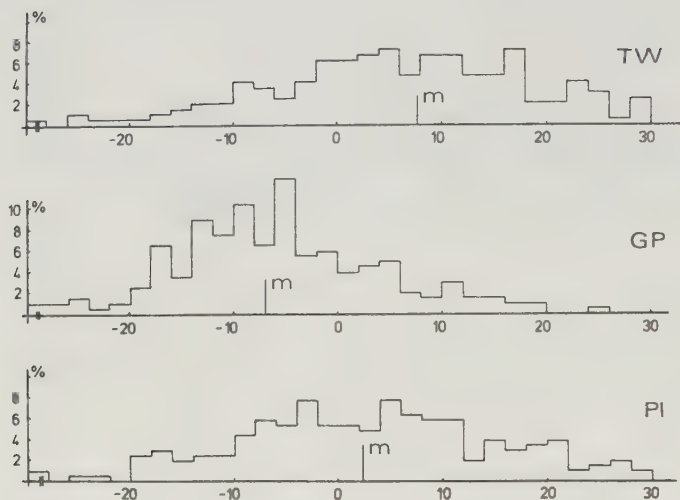


Abb. 12 : Histogramm aus der Differenz von Methodenalter und Gewichtsalter ($A_{\text{Meth}} - A_{\text{Ge}}$); Zahlenangabe in Monaten ($n = 209$); linke Hand; m = Zentralwert

Die Darstellung zeigt die Rechtsverschiebung der Verteilung bei Tanner-Whitehouse (oberes Diagramm). Bei Greulich-Pyle (Mitte) wird entgegengesetztes Verhalten beobachtet. Hier kommt es zu einer Linksverschiebung der Verteilung. Das planimetrische Knochenalter (untere Verteilung) führt zu einer guten Übereinstimmung mit der Verteilung des Gewichtsalters, was durch das symmetrische Bild des Histogramms um den Mittelpunkt aufgezeigt wird.

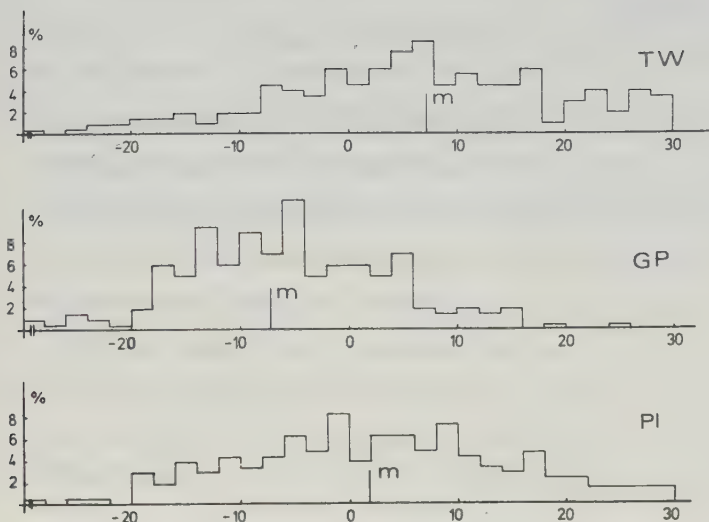


Abb. 13 : Histogramm aus der Differenz von Methodenalter und Gewichtsalter ($A_{\text{Meth}} - A_{\text{Ge}}$); Zahlenangabe in Monaten ($n = 209$); rechte Hand, m = Zentralwert

Die Darstellung zeigt eine Rechtsverschiebung der Verteilung bei Tanner-Whitehouse (obere Graphik). Bei Greulich-Pyle (Mitte) wird entgegengesetztes Verhalten beobachtet. Hier kommt es zu einer Linksverschiebung der Verteilung. Das planimetrische Knochenalter (untere Verteilung) führt zu einer guten Übereinstimmung mit der Verteilung des Gewichtsalters, was durch das symmetrische Bild des Histogramms um den Mittelpunkt aufgezeigt wird.

Differenzbildung aus dem
Gewichtsalter und den einzelnen Methodenalter

Die gebildeten Mittelwerte aus der Differenzrechnung von Methodenalter und dem Gewichtsalter sind denen des Kalenderalters und Längenalters sehr ähnlich (Abbildung 12, 13). Die Verteilung der Differenz von Knochenalter nach Tanner-Whitehouse und Gewichtsalter ist nach rechts verschoben. Das bedeutet, daß das geschätzte Ossifikationsalter nach Tanner-Whitehouse gegenüber dem Gewichtsalter ebenfalls zu hoch ist. Eine Differenz aus beiden ($A_{Ta} - A_{Ge}$ größer 0) verursacht die Verschiebung in den positiven Bereich der Graphik.

Bei der Methode von Greulich-Pyle tritt entgegengesetztes auf. Es ergibt sich eine mittlere Abweichung der Verteilung in den linken Bereich der Graphik. Diese Methode der Knochenalterbestimmung unterschätzt also gegenüber dem Gewichtsalter.

Das planimetrische Verfahren stimmt am besten mit der Verteilung des Gewichtsalters überein.

Pl	-	Ge	2.4
Gr	-	Ge	-6.9
Ta	-	Ge	7.7

Tabelle 11 : Mittelwerte, gebildet aus der Differenz von Methodenalter und Gewichtsalter; Zahlenangabe in Monaten ($n = 209$).

Die statistische Prüfung der Differenzen mit dem Gewichtsalter bringt dieselben Ergebnisse, wie sie mit dem Kalenderalter und Längenalter gefunden wurden. Es besteht zwischen der Planimetrie und dem Gewichtsalter kein signifikanter Unterschied, während dieser jedoch zum Methodenalter von Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse zu finden ist ($p \approx 0.01$).

Pl - Ge 12.8

Gr - Ge 11.3

Ta - Ge 13.7

Tabelle 12 : Standardabweichung, gebildet aus der Differenz von Methodenalter und Gewichtsalter; Zahlenangaben in Monaten ($n = 209$; $p \approx 0.01$).

Die Standardabweichung (Tabelle 12) zeigt bei der Differenzbildung für alle Methoden ähnliche Größenverhältnisse. Die breiteste Streuung wird bei Tanner-Whitehouse beobachtet, die geringste findet sich bei der Methode von Greulich-Pyle. Auch hier liegt das metrische Verfahren zwischen beiden. Die Unterschiede sind mit $p \approx 0.01$ signifikant.

Pl - Ge -0.2

Gr - Ge -0.4

Ta - Ge 4.8

Tabelle 13 : Schiefe der Verteilung, welche aus der Differenzbildung von Methodenalter und Gewichtsalter gewonnen wurde ($n = 209$; $p \approx 0.01$).

Die Verteilungen, welche aus der Differenzbildung von

Methodenalter und Gewichtsalter entstanden sind, haben einen symmetrischen Kurvenverlauf.

Korrelations- und Regressionsberechnung:

Erbrachten die Varianzanalysen "nur" übliches statistisches Zahlenmaterial, wie Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe, das in Gegenüberstellung gewertet werden konnte, ja das durch Differenzberechnung sogar schon Aussagen über das Verhalten der Methoden gegenüber Kalender-, Längen- und Gewichtsalter zuließ, so werden im folgenden durch Korrelations- und Regressionsberechnungen die Beziehungen der Verfahren untereinander verdeutlicht.

Die Güte der Übereinstimmung gibt der Korrelationskoeffizient an. Je stärker die Merkmale miteinander korreliert sind, desto näher liegt dieser Koeffizient bei 1.

Den Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen beschreibt der Regressionskoeffizient (Steigungsmaß), also um wieviel Einheiten sich die Zielgröße bei Veränderung der Einflußgröße ändert.

Beide Werte werden durch die Abbildungen veranschaulicht. Je besser die Verkettung zweier Methoden ist, umso enger liegt die Streuung der Punkte im Bereich der Korrelationsgeraden. Die Steigung dieser Geraden entspricht dem Regressionskoeffizienten.

Als erstes wurden die geschätzten Methodenalter mit dem Kalenderalter verglichen (Abbildung 14 - 16). In der Darstellung ergab sich ein bemerkenswerter Aspekt. Für alle Methoden erbringt der Vergleich mit dem Kalenderalter im Diagramm eine Drehung der Hauptachse der Punktwolke gegen die Winkelhalbierende. Das bedeutet, daß jüngeren Kindern im überwiegenden Maße bei

der Ossifikationsaltersbestimmung nach den einzelnen Methoden gegenüber dem chronologischen Alter ein zu hoher Wert zugeordnet wird. Bei älteren Kindern tritt andererseits der umgekehrte Fall ein. Hier werden nach den Schätzungen die Ossifikationsalter zu gering ermittelt.

Der Effekt der Drehung tritt allerdings nur auf, wenn das Diagramm von der Abszisse aus betrachtet wird, also vom geschätzten Alter auf das Kalenderalter. Bei Sicht von der Ordinate ergeben sich unauffällige Streuwerte.

Die Bedeutung dieser Drehung gegen die Winkelhalbierende wird in einem späteren Abschnitt noch zu besprechen sein.

Diese eben beschriebene Besonderheit findet sich auf allen Darstellungen bei Vergleichen des Ossifikationsalters, gewonnen aus den drei Verfahren, mit dem Kalenderalter.

Im Gegensatz zur Planimetrie und der Schätzung nach Tanner-Whitehouse ergibt sich bei Greulich-Pyle eine diskontinuierliche Verteilung. Dies liegt im Aufbau der Methode.

Veranschaulichen die Darstellungen recht gut die Beziehung von Methoden- und Kalenderalter durch ein optisch dichtes Streudiagramm, so wird die Verkettung mittels errechneter Korrelations- und Regressionskoeffizienten weiter verdeutlicht. Die größere Bedeutung messen wir der Korrelation zu.

Wie aus der Tabelle 14 ersichtlich, liegt dieser Koeffizient - gewonnen aus den Ossifikationsaltern mit dem Kalenderalter - zwischen Werten von 0.5 bis 0.6. Diese positive Korrelation mit dem chronologischen Alter ist mäßig, aber wohl brauchbar. Weiterhin zeigt sich, daß die Werte für Tanner - Whitehouse und die Planimetrie günstiger ausfallen als für das Verfahren von Greulich-Pyle.

Pl	li	versus	KA	0.59
Pl	re	"	KA	0.58
Gr	li	"	KA	0.49
Gr	re	"	KA	0.51
Ta	li	"	KA	0.59
Ta	re	"	KA	0.69

Tabelle 14 : Korrelationskoeffizienten zwischen den Methodenaltern und dem Kalenderalter.

Pl	=	Planimetrie;	Gr	=	Greulich-Pyle;
Ta	=	Tanner-Whitehouse;	KA	=	Kalenderalter;
li	=	links;	re	=	rechts.

Die Errechnung der Korrelationskoeffizienten zwischen den Knochenaltern der Methoden, einmal der linken und später der rechten Hand auf das Kalenderalter (Tabelle 14) erbrachte keine verwertbaren Unterschiede.

Beim Vergleich zwischen den Methoden offenbart sich im Korrelationskoeffizienten die gute Übereinstimmung von Planimetrie und dem Verfahren von Tanner-Whitehouse, die im Diagramm (Abbildung 19; 20) durch die sehr dichte Punktwolke zum Ausdruck kommt. Dagegen fällt die Korrelation dieser beiden Methoden zur Knochenalterbestimmung gegen Greulich-Pyle deutlich ab (Tabelle 15; Abbildung 17; 18; 21; 22).

Pl	li	versus	Gr	li	0.75
Pl	li	"	Ta	li	0.93
Gr	li	"	Ta	li	0.78

Tabelle 15 : Korrelationskoeffizienten zwischen den drei Verfahren zur Knochenalterbestimmung

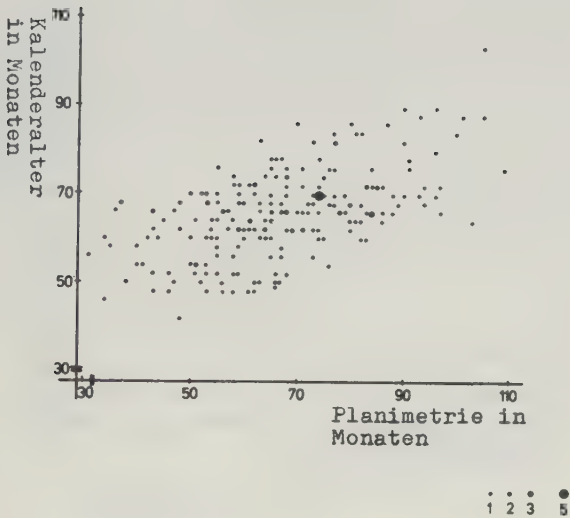


Abb. 14 : Korrelationsdiagramm
Planimetrie - Kalenderalter
Zahlenangabe in Monaten

Das Diagramm zeigt die deutliche Achsendrehung der Hauptrichtung der Punktwolke gegen die gedachte Winkelhalbierende. Den jüngeren Kindern wird ein zu hohes Ossifikationsalter zugeordnet, den älteren ein zu geringes.

Regressionskoeffizient : 0.92

Korrelationskoeffizient : 0.59

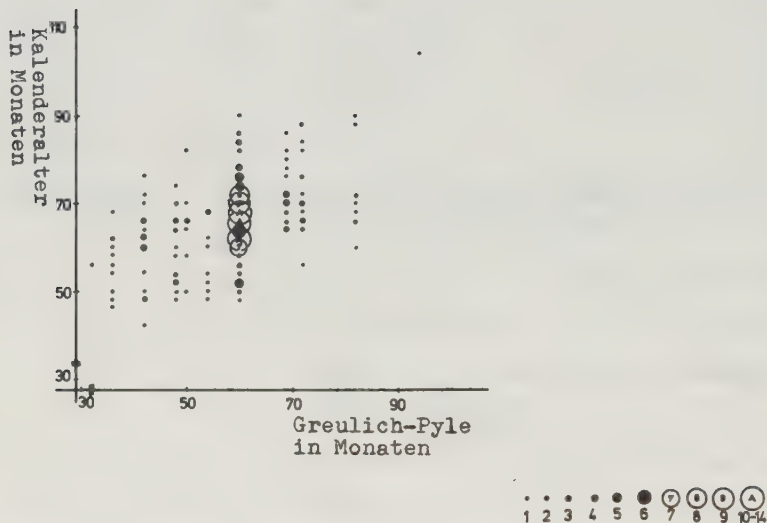


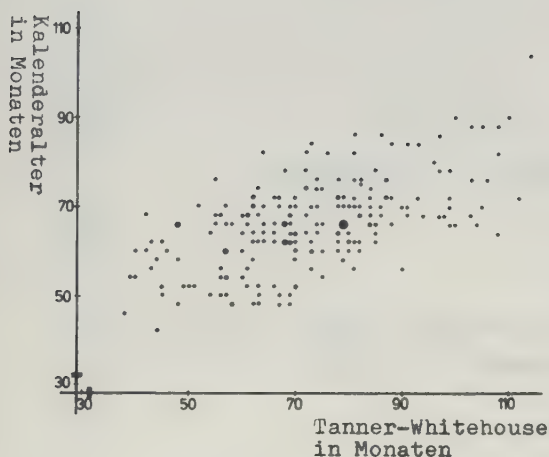
Abb. 15 : Korrelationsdiagramm

Knochenalter n. Greulich-Pyle - Kalenderalter
Zahlenangabe in Monaten

Das Diagramm zeigt eine deutliche Achsendre-
hung der Hauptrichtung der Punktwolke gegen
die gedachte Winkelhalbierende. Den jüngeren
Kindern wird ein zu hohes Ossifikationsalter
zugeordnet, den älteren ein zu geringes.

Regressionskoeffizient : 0.53

Korrelationskoeffizient : 0.49



1 2 3 5

Abb. 16 : Korrelationsdiagramm

Knochenalter n. Tanner-Whitehouse - Kalenderalter
Zahlenangaben in Monaten

Das Diagramm zeigt eine deutliche Achsendrehung
der Hauptrichtung der Punktwolke gegen die ge-
dachte Winkelhalbierende. Den jüngeren Kindern
wird ein zu hohes Ossifikationsalter zugeordnet,
den älteren ein zu geringes.

Regressionskoeffizient : 0.97

Korrelationskoeffizient : 0.59

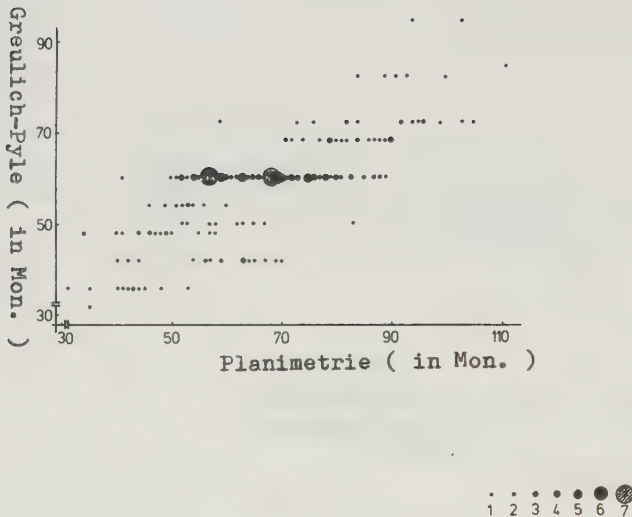


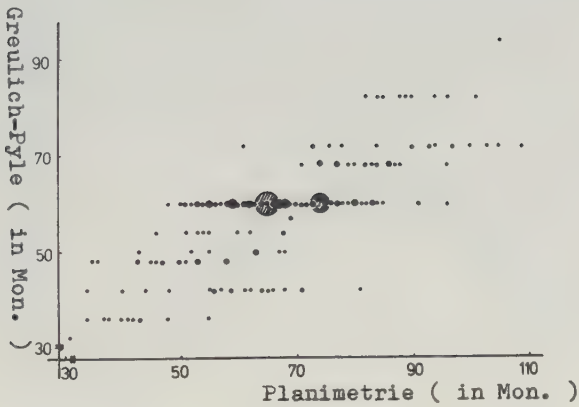
Abb. 17 : Korrelationsdiagramm

Planimetrisches Knochenalter - Knochenalter
nach Greulich-Pyle (linke Hand)
Zahlenangaben in Monaten.

Das planimetrische Knochenalter wird höher
geschätzt als das Knochenalter nach Greulich-
Pyle.

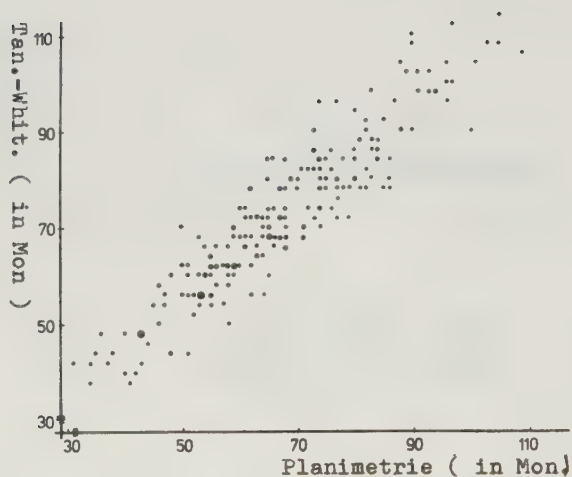
Regressionskoeffizient : 0.53

Korrelationskoeffizient : 0.75



i 2 3 4 5 7 9

Abb. 18 : Korrelationsdiagramm
 Planimetrisches Knochenalter - Knochenalter
 nach Greulich-Pyle (rechte Hand)
 Zahlenangaben in Monaten.
 Das planimetrische Knochenalter wird höher
 geschätzt als das Knochenalter nach
 Greulich-Pyle.



i 2 3 4

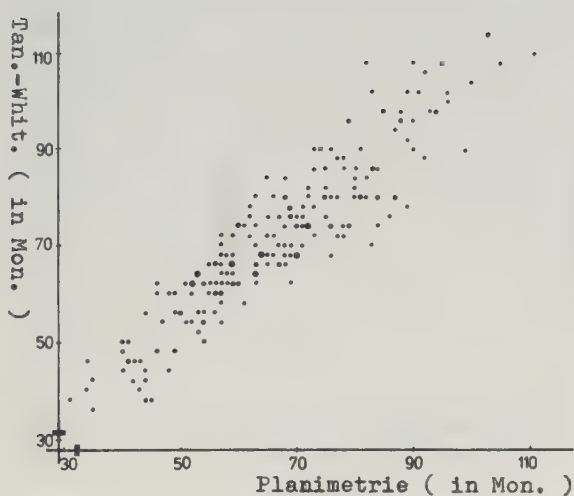
Abb. 19 : Korrelationsdiagramm

Planimetrisches Knochenalter - Knochenalter
nach Tanner-Whitehouse (linke Hand)
Zahlenangaben in Monaten.

Die enge Streuung der Punktwolke verdeutlicht
die gute Korrelation zwischen beiden Verfah-
ren der Knochenalterbestimmung.

Regressionskoeffizient : 0.97

Korrelationskoeffizient: 0.93



i 2 3

Abb. 20 : Korrelationsdiagramm
Planimetrisches Knochenalter - Knochenalter
nach Tanner-Whitehouse (rechte Hand)
Zahlenangaben in Monaten.
Die enge Streuung der Punktwolke verdeutlicht
die gute Korrelation zwischen beiden Verfah-
ren der Knochenalterbestimmung.

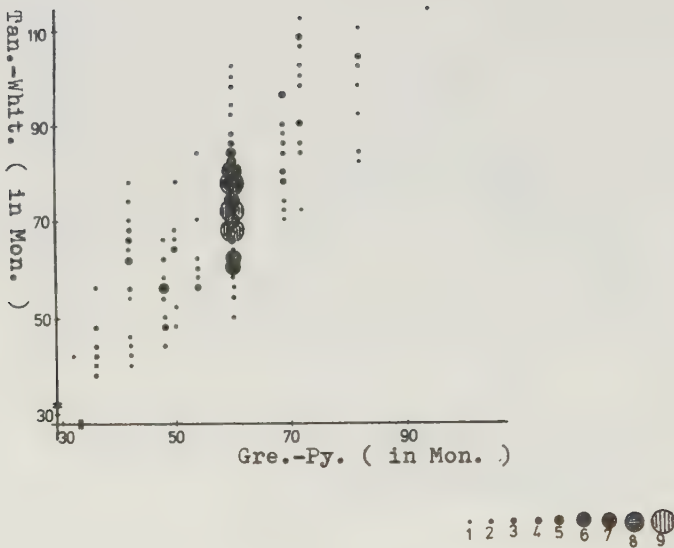


Abb. 21 : Korrelationsdiagramm

Knochenalter nach Greulich-Pyle - Knochenalter
nach Tanner-Whitehouse (linke Hand)
Zahlenangaben in Monaten.

Das Verfahren nach Tanner-Whitehouse schätzt
ein höheres Ossifikationsalter als die Bestim-
mungsmethode Greulich-Pyle.

Regressionskoeffizient : 1.18

Korrelationskoeffizient : 0.78

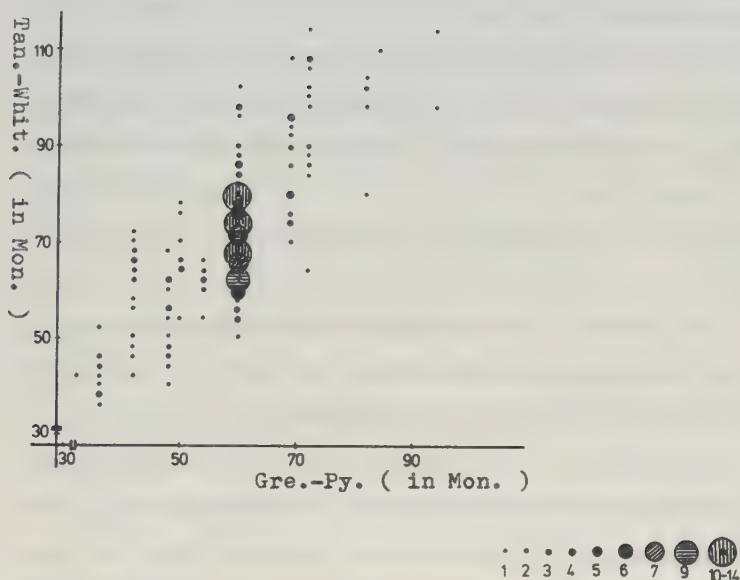


Abb. 22 : Korrelationsdiagramm
 Knochenalter nach Greulich-Pyle - Knochenalter
 nach Tanner-Whitehouse (rechte Hand)
 Zahlenangaben in Monaten.
 Das Verfahren von Tanner-Whitehouse schätzt
 ein höheres Ossifikationsalter als die Bestim-
 mungsmethode Greulich-Pyle.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit aller errechneten Daten ist gleich oder kleiner 1% (1% Signifikanzniveau).

Im Korrelogramm haben die Bilder unterschiedliches Aussehen. So ergibt sich bei allen Vergleichen, mit dem Material nach Greulich-Fyle bestimmt, eine diskontinuierliche Darstellung (Abb. 17; 18; 21; 22), während alle anderen Kurven kontinuierlich verteilt sind (Abb. 14; 16; 19; 20).

Neue Erkenntnisse werden durch die Darstellungsart, den Korrelationsdiagrammen, nicht gewonnen, vielmehr wird das gefundene Ergebnis der Varianzanalysen bestätigt.

Im Gegensatz zu den Graphiken der Varianzanalyse sind die Bilder der Streudiagramme zweidimensional; folglich zeichnen sich Verschiebungen in zwei Ebenen ab.

Tragen wir in diese Korrelogramme die Winkelhalbierende ein, so kommen die angedeuteten Verschiebungen eindrucksvoll zur Darstellung⁺.

Aus dem Diagramm im Vergleich der Planimetrie mit der Methode von Greulich und Fyle (Abb. 17; 18) liegt die größere Zahl der Punkte unterhalb dieser Linie. Das weist bei der diskontinuierlichen Verteilung auf zu niedrig ermittelte Greulich-Fyle - Werte gegenüber den planimetrische erhaltenen Altersangaben hin.

+ Anmerkung : Die Winkelhalbierende (45°- Linie zwischen Abszisse und Ordinate) wird deshalb verwendet, weil ein linearer Zusammenhang zwischen Ziel- und Einflußgröße (also Meth. 1 und Meth. 2) angenommen wird.

Gegensätzliches Verhalten erbringt die Nebeneinanderstellung von Methode Tanner-Whitehouse und der Planimetrie (Abb. 19; 20). Hier erfolgt die Verschiebung der überwiegenden Zahl der Punkte knapp über die Winkelhalbierende. Daß heißt, daß dem geschätzten planimetrischen Alter ein etwas höheres Alter nach Tanner-Whitehouse zugeordnet wird.

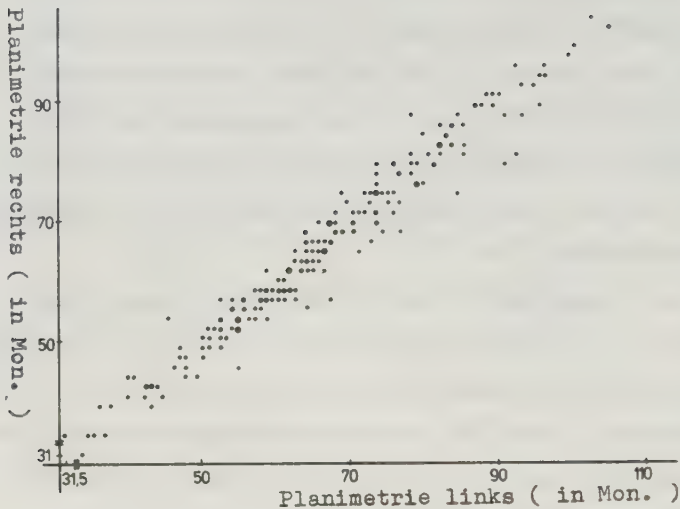
Die Gegenüberstellung der Altersbestimmung nach Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse (Abb. 21; 22) bringt eine noch umfangreichere Verschiebung zu Gunsten von Tanner-Whitehouse mit sich. Da in diesen Methoden beide "Extreme" miteinander verglichen werden, muß der Unterschied im Diagramm noch deutlicher ausfallen.

Beim Seitenvergleich zwischen rechter und linker Hand muß eine sehr gute Korrelation erhalten werden, was im Diagramm (Abb. 23; 24; 25) bei sehr knapper Streuung um die Korrelationsgeraden und bei der Betrachtung der Koeffizienten (Tab. 6) auch deutlich zum Ausdruck kommt.

Pl	li	versus	Pl re	0.98
Gr	li	"	Gr re	0.94
Ta	li	"	Ta re	0.97

Tabelle 16 : Korrelationskoeffizienten zwischen den Knochenaltern der linken und rechten Hand.

(Pl = Planimetrie; Ta = Tanner-Whitehouse;
Gr = Greulich-Pyle; li = links
re = rechts)



• • •
1 2 3

Abb. 23 : Korrelationsdiagramm
Planimetrisches Knochenalter zwischen der
linken und rechten Hand
Zahlenangaben in Monaten
Die enge Korrelation zwischen den Werten
der beiden Hände wird durch die sehr schmale
Punktwolke verdeutlicht.
Regressionskoeffizient : 0.98
Korrelationskoeffizient : 0.98

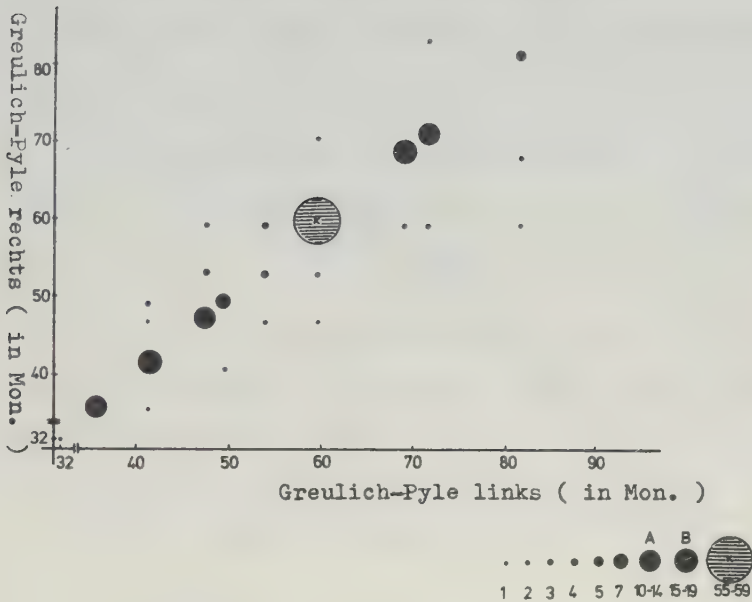
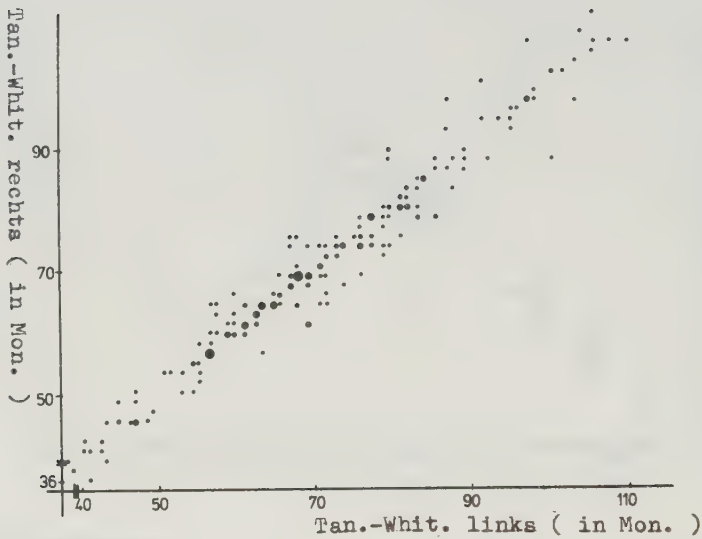


Abb. 24 : Korrelationsdiagramm
 Knochenalter nach Greulich-Pyle
 zwischen der linken und rechten Hand
 Zahlenangaben in Monaten
 Die enge Korrelation zwischen den Werten
 der beiden Hände wird durch die sehr
 schmale Punktwolke verdeutlicht.
 Regressionskoeffizient : 0.92
 Korrelationskoeffizient : 0.94



1 2 3 4 5

Abb. 25 : Korrelationsdiagramm

Knochenalter nach Tanner-Whitehouse
zwischen der linken und rechten Hand.
Zahlenangaben in Monaten.

Die enge Korrelation zwischen den Werten
beider Hände wird durch die sehr schmale
Punktwolke verdeutlicht.

Regressionskoeffizient : 0.98

Korrelationskoeffizient : 0.97

Von geringerer Bedeutung ist für uns der Regressionskoeffizient. Diese Maßzahl entspricht der Steigung der Regressionsgeraden und gibt an, in welcher Größenordnung der Zusammenhang zwischen zwei Veränderlichen liegt.

Bei guter Übereinstimmung zweier Methoden, wie das besonders beim Vergleich zwischen den Knochenaltern der linken und rechten Hand, aber auch zwischen dem planimetrischen Verfahren und der Methode Tanner-Whitehouse der Fall ist, nähert sich der Regressionskoeffizient dem Wert 1 und wird zur Winkelhalbierenden im Diagramm. Er fällt dann mit der Korrelationsgeraden zusammen.

Pl	li	versus	KA	0.92
Gr	li	"	KA	0.53
Ta	li	"	KA	0.97
Pl	li	"	Gr li	0.53
Pl	li	"	Ta li	0.97
Gr	li	"	Ta li	1.18
Pl	li	"	Pl re	0.98
Gr	li	"	Gr re	0.92
Ta	li	"	Ta re	0.98

Tabelle 17 : Darstellung der Regressionskoeffizienten

(Pl = Planimetrie;

Gr = Greulich-Pyle;

Ta = Tanner-Whitehouse;

KA = Kalenderalter

li = links re = rechts).

Die vorhergehenden Berechnungen wurden nun auch mit dem Längen- und Gewichtsalter durchgeführt, wobei ersterem die größere Bedeutung zukommt.

Die Korrelogramme (Abb. 26 - 31) erbringen grundsätzlich ähnliches Verhalten, wie die Vergleiche mit dem Kalenderalter, was nicht verwundert; sind doch diese Verfahren auf der Grundlage des chronologischen Alters entwickelt worden.

Stellt man das Längenalter mit dem Kalenderalter gegenüber, wird eine recht gute Korrelation (Tab.18) erhalten, während das Gewichtsalter gegen das chronologische Alter deutlich abfällt. Gut dagegen sind Längen- und Gewichtsalter miteinander korreliert.

LÄ	versus	KA	0.72
GA	"	KA	0.51
GA	"	LÄ	0.75

Tabelle 18 : Korrelationskoeffizienten

zwischen Längen-, Gewichts- und Kalenderalter

(LÄ = Längenalter

GA = Gewichtsalter

KA = Kalenderalter)

Die Diagramme von Längen- und Gewichtsalter, verglichen mit den geschätzten Werten, zeigen erneut die schon beim Kalenderalter beschriebenen Besonderheiten, nämlich die Drehung der Korrelationsgeraden zur Winkelhalbierenden.

Die Abhängigkeit dieser Daten vom tatsächlichen Alter machen dieses ähnliche Verhalten verständlich.

Desweiteren erbringt die Graphik eine zu niedrige Einschätzung des Ossifikationsalters durch Greulich-Pyle gegenüber Längen- und Gewichtsalter, was in einer Verlagerung des Punktekongingentes gegen letztere Methoden zum Ausdruck kommt. Während die Planimetrie in der Mitte liegt, führt das Verfahren nach Tanner-Whitehouse zu einer höheren Ossifikationsalterschätzung.

Die Güte der Korrelation stellt auch hier der Koeffizient dar. Es ist zu erkennen, daß die planimetrische Methode am besten abschneidet (Tabelle 19). Die Schätzung nach Tanner-Whitehouse liegt etwas ungünstiger, während Greulich und Pyle merklich abfällt.

Beim Gewichtsalter im Vergleich mit den Methoden ist die Tendenz ähnlich wie beim Längenalter, wenngleich die Korrelation hier nicht so gut abschneidet.

Auch jetzt korreliert die planimetrische Methode am besten; danach kommen Tanner-Whitehouse und Greulich-Pyle.

Pl	li	versus	LÄ	0.66
Gr	li	"	LÄ	0.53
Ta	li	"	LÄ	0.63
Pl	li	"	GA	0.60
Gr	li	"	GA	0.53
Ta	li	"	GA	0.57

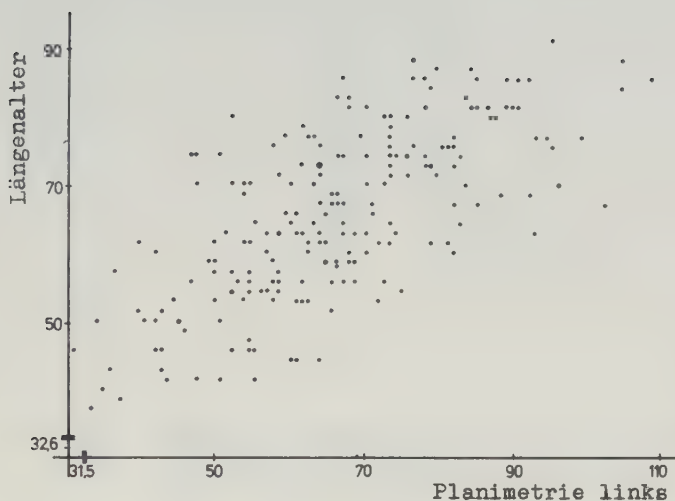
Tabelle 19 : Darstellung der Korrelationskoeffizienten aus dem Vergleich von Methodenalter und Längen bzw. Gewichtsalter.

Die Regressionskoeffizienten sind in Tabelle 2o zusammengefaßt. In diesem Steigerungsmaß drückt sich die Änderung der Zielgröße bei Abwandlung der Einflußgröße aus.

Pl	li	KA	0.92
		LÄ	0.81
		GA	0.72
Gr	li	KA	0.53
		LÄ	0.45
		GA	0.45
Ta	li	KA	0.97
		LÄ	0.81
		GA	0.72
KA		LÄ	0.55
KA		GA	0.39
LÄ		GA	0.73

Tabelle 2o : Darstellung der Regressionskoeffizienten

(Pl = Planimetrie;
 Gr = Greulich-Pyle;
 Ta = Tanner-Whitehouse;
 KA = Kalenderalter;
 LÄ = Längenalter;
 GA = Gewichtsalter;
 li = links;
 re = rechts).



i 2 3

Abb. 26 : Korrelationsdiagramm
Planimetrisches Knochenalter - Längenalter
Zahlenangaben in Monaten

Die weitaus diffusere Streuung der Punktwolke zeigt einen geringeren Zusammenhang zwischen den beiden Methoden.

Regressionskoeffizient : 0.81
Korrelationskoeffizient : 0.66

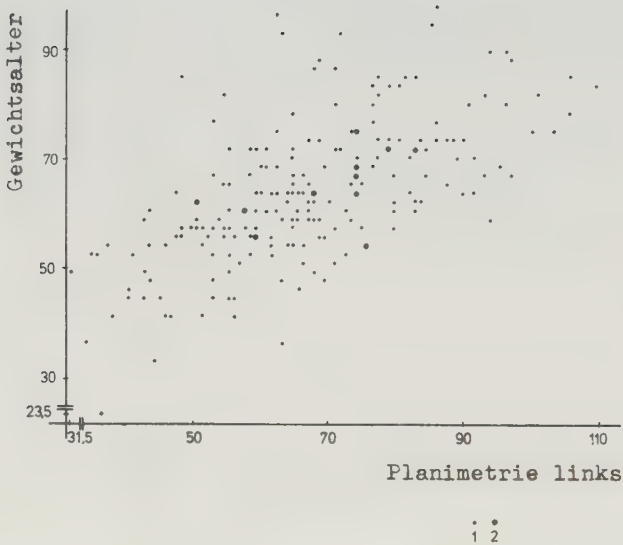


Abb. 27 : Korrelationsdiagramm

Planimetrisches Knochenalter - Gewichtsalter
Zahlenangaben in Monaten

Der Zusammenhang zwischen dem planimetrischen Verfahren und dem Gewichtsalter ist geringer als beim Längenalter. Die Punktwolke ist breiter gestreut.

Regressionskoeffizient : 0.72

Korrelationskoeffizient : 0.60

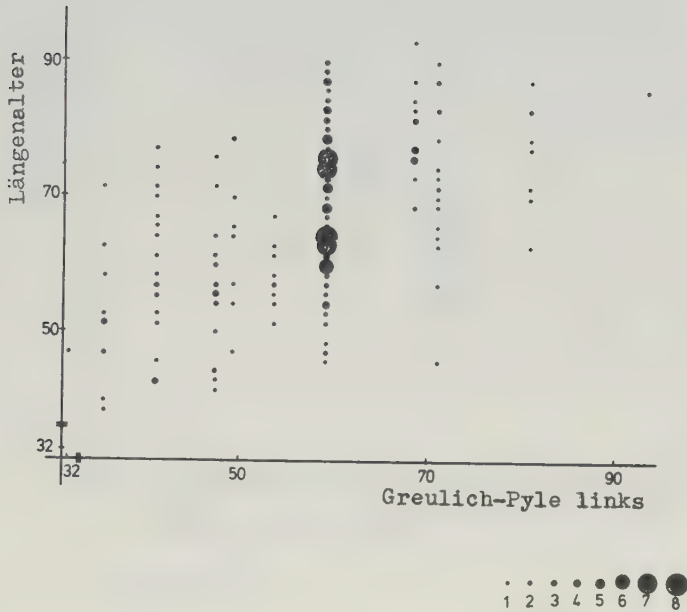


Abb. 28 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter Greulich-Pyle - Längenalter
Zahlenangaben in Monaten

Die Punktwolke zeigt eine breite Streuung.
Das spricht für einen geringen Zusammen-
hang zwischen den beiden Verfahren.

Regressionskoeffizient : 0.45
Korrelationskoeffizient : 0.53

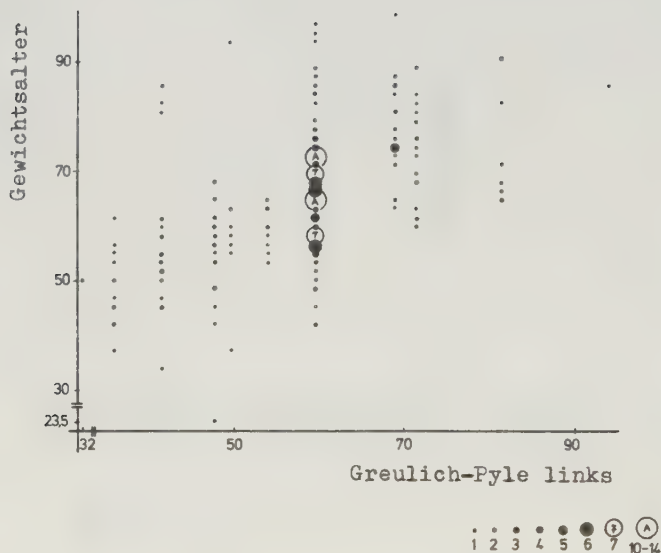
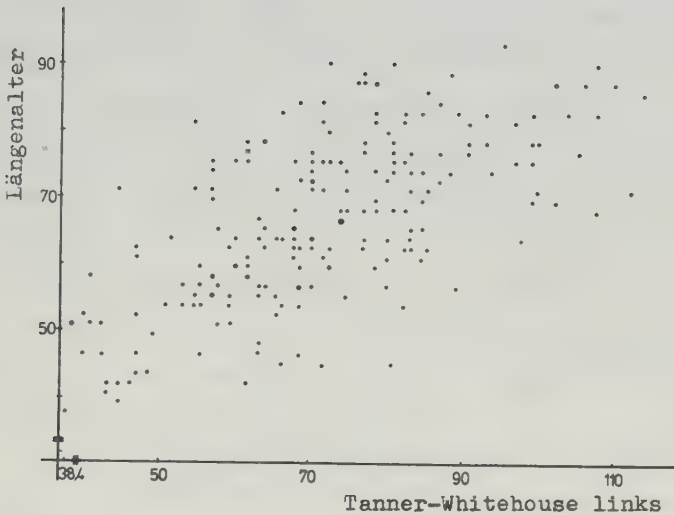


Abb. 29 : Korrelationsdiagramm
 Knochenalter Greulich-Pyle - Gewichtsalter
 Zahlenangaben in Monaten

Die Übereinstimmung zwischen den beiden
 Verfahren ist noch geringer als beim
 Längenalter.

Regressionskoeffizient : 0.45
 Korrelationskoeffizient : 0.53



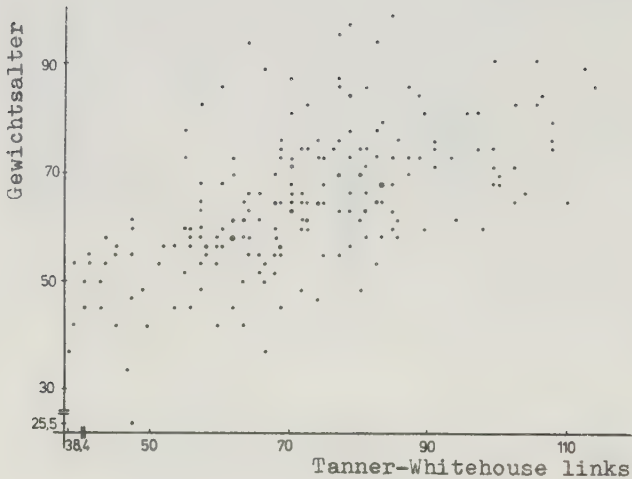
i 2 3

Abb. 30 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter nach Tanner-Whitehouse - Längenalter
Zahlenangaben in Monaten

Der Zusammenhang zwischen den beiden
Verfahren ist ähnlich der Planimetrie.
Die diffuse Streubreite des Diagramms
verdeutlicht die geringere Übereinstimmung.

Regressionskoeffizient : 0.81

Korrelationskoeffizient : 0.63



• • •
1 2 3

Abb. 31 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter nach Tanner-Whitehouse - Gewichtsalter
Zahlenangaben in Monaten

Die Streubreite ist größer als beim
Längenalter.

Das spricht für eine etwas geringere
Übereinstimmung.

Regressionskoeffizient : 0.72

Korrelationskoeffizient : 0.57

Zur weiteren Verdeutlichung gefundener Daten wurde eine zusätzliche Darstellungsart gewählt, indem die Differenz aus Methoden- und Kalenderalter gegeneinander aufgetragen wurde. In der Aussage ergeben sich keine neuen Aspekte, die Verschiebungen zeichnen sich aber noch deutlicher ab.

Da es nun zur Auftragung der Differenz kommt, sind auch negative Zahlenwerte möglich, sowohl im Bereich der Abszisse als auch Ordinate. Daher entstehen vier Sektoren, in welche die Daten fallen können.

$A_{\text{Meth. 1}}$	kleiner KA	alle Werte positiv
$A_{\text{Meth. 2}}$	kleiner KA	
$A_{\text{Meth. 1}}$	größer KA	negativ entlang der Abszisse, positiv entlang der Ordinate
$A_{\text{Meth. 2}}$	kleiner KA	
$A_{\text{Meth. 1}}$	kleiner KA	positiv entlang der Abszisse, negativ entlang der Ordinate
$A_{\text{Meth. 2}}$	größer KA	
$A_{\text{Meth. 1}}$	größer KA	alle Werte negativ
$A_{\text{Meth. 2}}$	größer KA	

Bei guter Übereinstimmung der Schätzverfahren einerseits und des Kalenderalters andererseits wird eine Punktwolke um den Nullpunkt des Ordinatensystems erwartet.

Auch der Vergleich mit Tanner-Whitehouse bestätigt das Gefundene. Diese Methode schätzt das Alter der Ossifikationskerne zu hoch.

Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten erbringt natürlich kein anderes Ergebnis. Die Werte zeigen eine sehr gute Übereinstimmung der Differenzen zwischen der Planimetrie und Tanner-Whitehouse, sowie brauchbare Ergebnisse mit Greulich-Pyle (Tabelle 21).

KA - Pl li / KA - Gr li 0.62

KA - Pl li / KA - Ta li 0.89

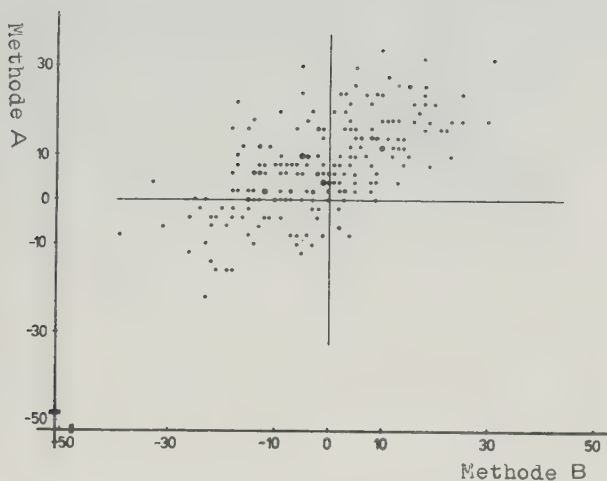
KA - Gr li / KA - Ta li 0.64

Tabelle 21 : Korrelationskoeffizienten zwischen den Differenzen aus Methodenaltern und Kalenderalter

Das erste Diagramm (Abb. 32) erbringt den Vergleich der Differenzen (KA - Alter_{Meth.}) zwischen Greulich-Pyle und der Planimetrie. Auf der Abszisse werden die Daten der Planimetrie, auf der Ordinate die jetzt errechneten Greulich-Pyle-Werte aufgetragen.

Betrachtet man dieses Steudiagramm nun von der Abszisse aus, so stellt sich eine recht gleichmäßige Streuung nach beiden Seiten um den Nullpunkt dar, was ja schon bei der Varianzanalyse beschrieben wurde; denn die planimetrische Methode liegt mit ihrem Mittelwert (bei der Differenzrechnung) eng am Nullpunkt.

Sieht man die Punktwolke von der Ordinate, dann wird die bekannte Abweichung deutlich; hier in den positiven Bereich, weil durch die gebildete Differenz mit dem Kalenderalter bei zu geringer Schätzung durch Greulich-Pyle die Mehrzahl der Punkte positiv ausfallen.



1 2 3

Abb. 32 : Korrelationsdiagramm

Darstellung der Differenzen aus dem Knochenalter nach Greulich-Pyle und dem Kalenderalter gegen die Differenz aus dem planimetrischen Knochenalter und dem Kalenderalter.

Zahlenangaben in Monaten

Während das Verfahren von Greulich-Pyle das Knochenalter zu niedrig schätzt, ermittelt die planimetrische Methode ein gegenüber dem Kalenderalter etwas höheres Knochenalter.

Methode A = Differenz aus Alter nach Greulich-Pyle und Kalenderalter (in Monaten)

Methode B = Differenz aus planimetrischem Alter und Kalenderalter (in Monaten)

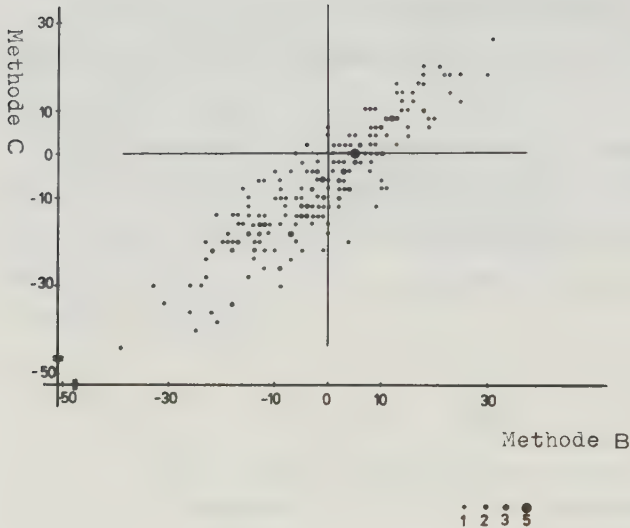


Abb. 33 : Korrelationsdiagramm

Darstellung der Differenzen aus dem Knochenalter der Planimetrie und dem Kalenderalter gegen die Differenz aus dem Knochenalter nach Tanner-Whitehouse und Kalenderalter.
Zahlenangaben in Monaten

Das Verfahren von Tanner-Whitehouse und die planimetrische Methode stimmen mit dem Kalenderalter besser überein als die Methode von Greulich-Pyle.

Methode B = Differenz aus planimetrischem Alter und Kalenderalter (in Monaten)

Methode C = Differenz aus dem Alter nach Tanner-Whitehouse und dem Kalenderalter (in Monaten)

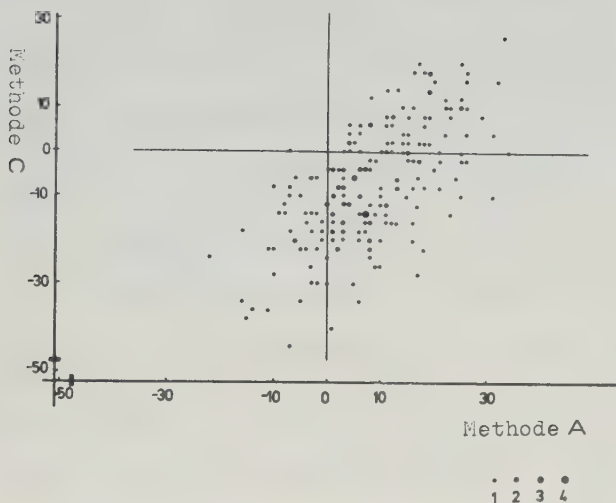


Abb. 34 : Korrelationsdiagramm

Darstellung der Differenzen aus dem Knochenalter von Greulich-Pyle mit dem Kalenderalter gegen die Differenz aus dem Knochenalter nach Tanner-Whitehouse mit dem Kalenderalter
Zahlenangaben in Monaten

Während das Knochenalter von Greulich-Pyle zu gering bestimmt wird und zu einer Verschiebung der Punktwolke entlang der Ordinate in den negativen Bereich führt, schätzt das Verfahren von Tanner-Whitehouse das Knochenalter gegenüber dem Kalenderalter zu hoch.

Methode A = Differenz zwischen dem Knochenalter nach Greulich-Pyle und dem Kalenderalter (in Monaten)

Methode C = Differenz zwischen dem Knochenalter nach Tanner-Whitehouse und dem Kalenderalter (in Monaten)

Nachdem der Vergleich der Methoden untereinander, sowie mit dem Kalender, Längen- und Gewichtsalter in verschiedenen Darstellungsarten einerseits und die Korrelations- und Regressionsberechnungen andererseits erbracht war, wurde versucht, die Methoden der Knochenalterschätzung zu vereinfachen. Alle Ossifikationsalterbestimmungen sind mit dem Nachteil behaftet, zeitlich besonders aufwendig zu sein, was für den Kliniker dann oftmals einen Hinderungsgrund darstellt, sich dieser sonst so einfachen Verfahren zu bedienen.

Es wurde versucht, die Auswertungskette bei der Planimetrie zu kürzen, indem der zeitraubende Vorgang der Umsetzung von tatsächlich planimetrierter Größe zum Knochenalter vereinfacht wurde. Voraussetzung dafür war natürlich eine Regressionsberechnung.

Zur Vereinfachung für die kommenden Berechnungen wurden nicht mehr die einzelnen Knochenalter, sondern die tatsächlich vom Planimeter gewonnene Fläche der Knochenkerne herangezogen.

Von dieser Größe eines Knochenkernes (z.B. Carpatum oder auch anderen) soll auf das Alter der Ossifikation geschlossen werden. Das ist möglich, wenn eine Regression von der Größe eines Knochenkernes auf das Alter errechnet wird. Der Versuch wurde mit dem Capitatum, Hamatum und Radius-epiphyse unternommen. Mittels der Regression kann vom Capitatum auf das Alter geschlossen werden, was in einer Punkt- oder Intervallschätzung geschieht.

Nach Gewinnung der Regressionsformel in einer definierten Stichprobe gesunder Personen ist es möglich, zur Beurteilung eines neuen Falles das tatsächlich regressionsmäßig

(aus Capitatum oder anderen) gewonnene Alter des zur Beurteilung anstehenden Falles zu vergleichen.

Die Abhängigkeit der einzelnen Knochenkerne zueinander wurde gewichtet. Dabei ergab sich, daß Erscheinen und Wachstum der zehn Handwurzelknochenkerne stark miteinander verknüpft sind. Die Aussagekraft der zuerst erscheinenden Zentren (Capitatum, Hamatum, Radius-Epiphyse) ist für das zu ermittelnde Ossifikationsalter so groß, daß es erlaubt ist, in der aufbauenden Regressionsberechnung das planimetrische Alter mit reduzierter Knochenkernzahl zu schätzen; denn üblicherweise wird die Altersschätzung besser, wenn mehrere Größen mit Altersabhängigkeit eingebracht werden. Dies wurde in einem späteren Abschnitt mit der tatsächlichen Körpergröße versucht.

Als erstes wurde mittels einer Regressionsformel das Ossifikationsalter aus drei Variablen, nämlich den tatsächlichen Größen von Capitatum, Hamatum und Radiussepiphyse gewonnen. Für die Güte der Schätzung sind die übrigen Knochenkerne bedeutungslos, weil durch sie keine Verbesserung der Schätzwerte erbracht wird. Das mittels Regressionsrechnung auf drei Variablen basierende Verfahren wird hierbei als Methode IV bezeichnet. Das Knochenalter wird jetzt aus folgender Regressionsformel gewonnen:

$$A_{\text{Meth. IV}} = 0.515 \cdot \text{Capi} - 0.247 \cdot \text{Hama} + 0.293 \cdot \text{Repi} - 0.391$$

Setzt man nun in diese Formel die planimetrierten Größen der drei Knochenkerne ein, erhält man das geschätzte Knochenalter in Monaten.

In dieser mathematischen Gleichung mit drei Variablen besteht zwischen dem Capitatum und dem Hamatum ebenfalls eine hohe Korrelation, sodaß auf letzteres bei einer weiteren Vereinfachung verzichtet wurde. Diese Regressionsformel, jetzt mit zwei Variablen, nämlich Capitatum und Radius-Epiphyse, wird als Methode V bezeichnet.

Die Formel lautet:

$$A_{\text{Meth. V}} = 0.408 \text{ Capi} + 0.272 \text{ Repi} - 4.68$$

Einen zusätzlichen Vorteil gegenüber den jetzt entstandenen Methoden IV und V erbringt die Einarbeitung der Körpergröße. Um eine Altersschätzung optimaler zu gestalten, sollten ja viele, von einander möglichst unabhängige Merkmale mit Beziehungen zum Alter in eine Formel eingebracht werden. Natürlich ist eine Abhängigkeit der Länge zur Reife des Handwurzelskeletts vorhanden; aber es besteht nicht der enge Zusammenhang wie zwischen den einzelnen Knochenkernen. Daher bietet sich die Körpergröße als ein gutes und einfach zu gewinnendes Maß an, um den Schätzwert zu verbessern.

Verwendet wurde auch hier die tatsächlich gemessene Größe, was die Umrechnung ins Längenalter einspart.

Die Gewinnung des Ossifikationsalters aus der Regressionsformel mit zwei planimetrisch gewonnenen Variablen, also Fläche von Capitatum und Radius-Epiphyse und der Körperlänge in Zentimetern wird als Methode VI bezeichnet.

Diese Rechenfunktion heißt :

$$A_{\text{Meth.VI}} = 1.485 \text{ Iä} + 0.076 \text{ Capi} + 0.095 \text{ Repi} - 120.48$$

Diese drei Methoden sind nun die Grundlagen der folgenden Betrachtungen und Vergleiche.

Die Varianzanalyse stellt bei allen drei Untersuchungsarten keine neuen Gesichtspunkte heraus. Die Schätzwerte sind ähnlich wie die der planimetrischen Methode, basierend auf zehn Variablen. Der Mittelwert (Tabelle 22) entspricht bei allen dreien fast dem Wert des Kalenderalters, die Standardabweichung liegt höher, jedoch in derselben Größenordnung (Tabelle 23).

KA	66.67
Meth. IV	66.61
Meth. V	66.58
Meth. VI	66.63

Tabelle 22 : Mittelwerte der neuen Methoden in Monaten
(n = 209)

KA	9.7
Meth. IV	16.2
Meth. V	16.3
Meth. VI	13.3

Tabelle 23 : Standardabweichung in Monaten (n = 209)

Die Korrelationsberechnungen weisen nach, daß die Qualität der Schätzmethoden bei Reduktion der Variablenzahl keineswegs abnimmt. Im Korrelogramm wird das durch die gute Anlehnung an die Korrelationsgerade und die nur geringe Streuung der Punkte deutlich.

Die Vergleiche mit dem Kalenderalter (Abb. 35 - 37) zeigen - ausgedrückt im Korrelationskoeffizienten - bei den Methoden IV und V mit drei bzw. zwei Variablen ein sogar günstigeres Verhalten, als bei der Methode mit zehn Veränderlichen (Tab. 24).

Pl	li	KA	0.57
KA		Meth. IV	0.60
KA		Meth. V	0.59
KA		Meth. VI	0.73

Tabelle 24 : Korrelationskoeffizienten
zwischen den vier planimetrischen
Methoden und dem Kalenderalter

Die Berücksichtigung der Körperlänge führt zu einer weiteren Verbesserung des Ergebnisses, welches gegen die anderen Verfahren deutlich absticht. (Abb. 37)

Die Gegenüberstellung der bislang verwendeten planimetrischen Methode (10 Variable) betont die gute Übereinstimmung mit den Skelettaltern der Verfahren IV und V. Die eingearbeitete Länge bei der Methode VI führt jedoch zu einer Verschlechterung der Korrelation zum planimetrischen Verfahren mit zehn Veränderlichen. Die Gründe werden später diskutiert.

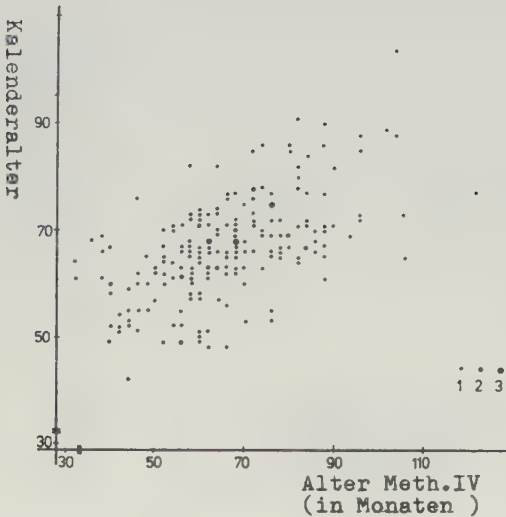


Abb. 35 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter nach Methode IV
(drei Variable) - Kalenderalter
Zahlenangaben in Monaten

Die Übereinstimmung zwischen beiden Veränder-
lichen liegt in der Größenordnung der ursprüng-
lichen planimetrischen Messung. Die Punktwolke
ist diffus gestreut, was einer mäßigen Korre-
lation entspricht.

Korrelationskoeffizient : 0.60

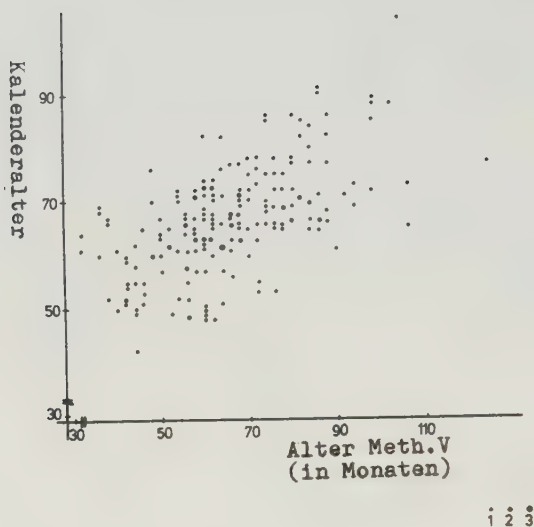


Abb. 36 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter nach der Methode V (zwei
Variable) - Kalenderalter
Zahlenangaben in Monaten
Die Streubreite der Punktwolke ist ähnlich
derjenigen in Abbildung 35. Die Überein-
stimmung zwischen dem Knochenalter der
Methode V und dem Kalenderalter ist mäßig.
Korrelationskoeffizient : 0.59

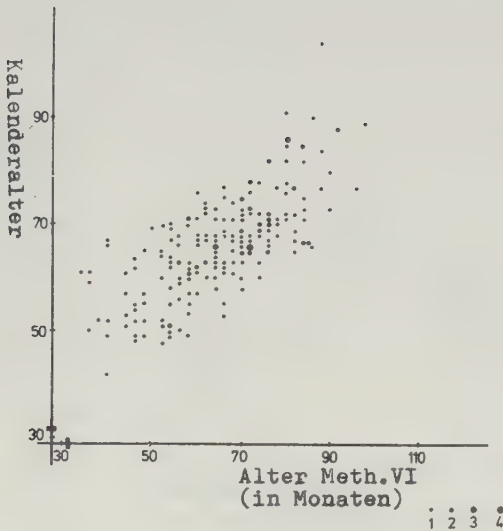


Abb. 37 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter nach Methode VI (zwei
Variable u. Körpergröße) - Kalenderalter
Zahlenangaben in Monaten
Die Streubreite des Korrelogramms ist
wesentlich enger. Das bedeutet, daß die
Körpergröße die Korrelation zum Kalender-
alter erheblich verbessert.
Korrelationskoeffizient : 0.73

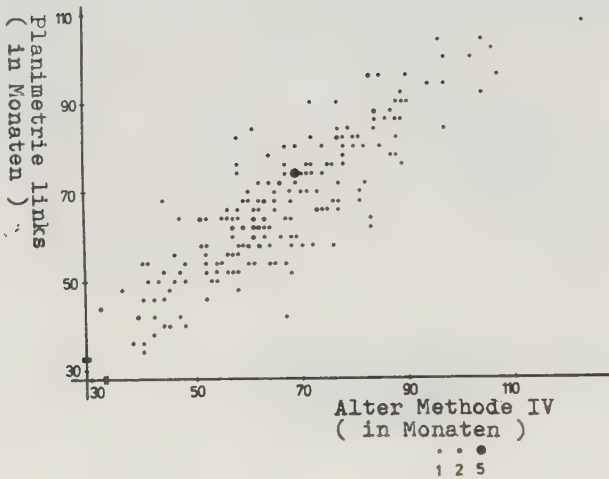


Abb. 38 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter nach Methode IV (drei
Variable) - Planimetrisches Knochenalter
(1o Variable)
Zahlenangaben in Monaten
Die Übereinstimmung zwischen den beiden
Verfahren ist sehr eng.
Korrelationskoeffizient : 0.87

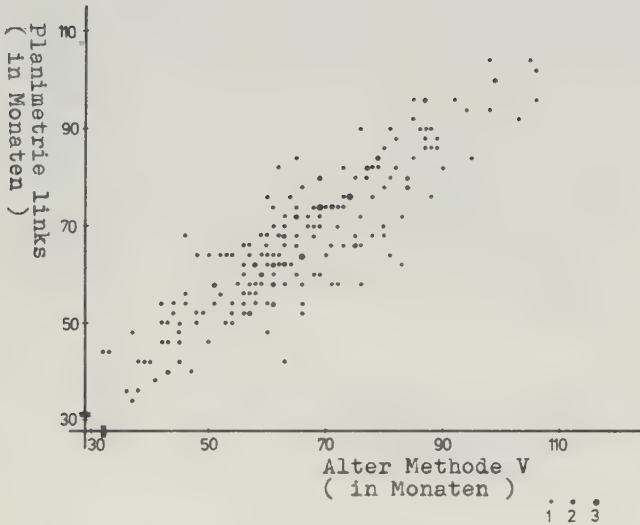


Abb. 39 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter nach Methode V (zwei
Variable) - Planimetrisches Knochenalter
(1o Variable)
Zahlenangaben in Monaten
Die Übereinstimmung zwischen diesen zwei
Verfahren ist sehr eng.
Korrelationskoeffizient : 0.89

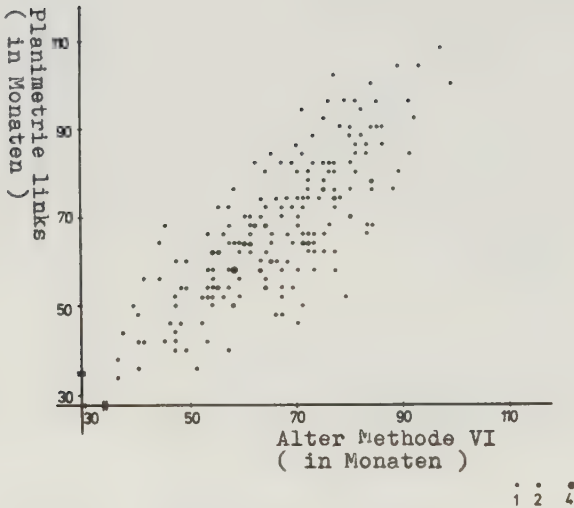


Abb. 4c : Korrelationsdiagramm

Knochenalter nach Methode VI (zwei
Variable und Körpergröße) - Planimetrisches
Knochenalter (1o Variable)

Zahlenangaben in Monaten

Die Körpergröße führt zu einer Abnahme der
Korrelation zwischen den beiden Verfahren.
Dies ist aus der deutlich diffuseren Streu-
breite des Diagramms zu entnehmen.

Korrelationskoeffizient : 0.75

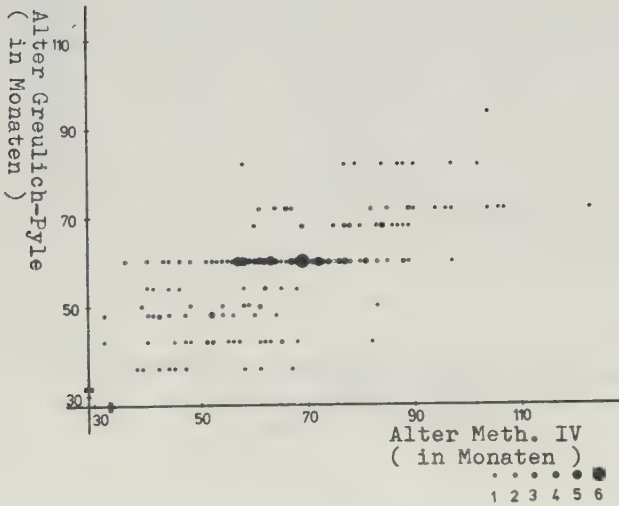


Abb. 41 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter nach Methode IV (drei
Variable) - Knochenalter nach Greulich-
Pyle
Zahlenangaben in Monaten
Die Übereinstimmung ist weniger gut als
wie gegenüber dem planimetrischen Verfahren
mit zehn Variablen.
Korrelationskoeffizient : 0.67

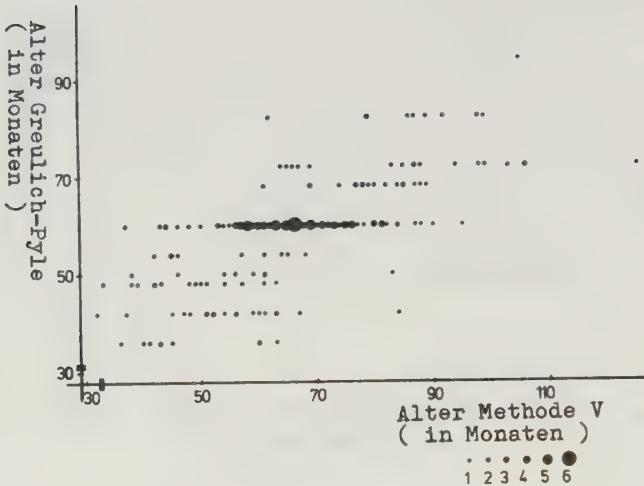


Abb. 42 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter nach Methode V (zwei
Variable) - Knochenalter nach Greulich-
Pyle
Zahlenangaben in Monaten
Die Korrelation zwischen den beiden
Methoden unterscheidet sich kaum von der
der Abbildung 41. Das Punktediagramm ist
recht diffus gestreut.
Korrelationskoeffizient : 0.68

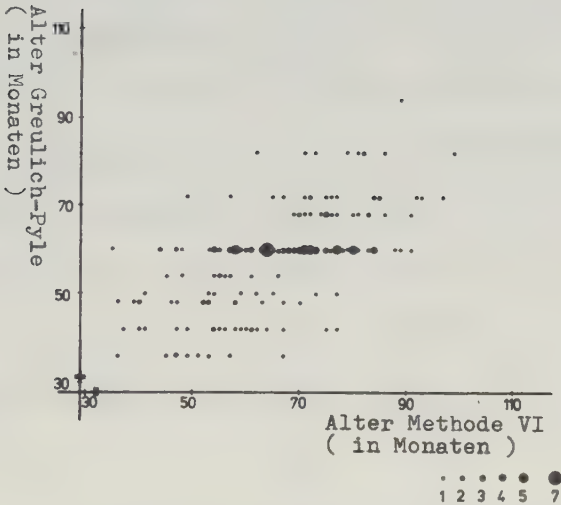


Abb. 43 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter nach Methode VI (zwei
Variable und Körpergröße) - Knochenalter
nach Greulich-Pyle
Zahlenangaben in Monaten
Die Körpergröße führt zu einer schwächeren
Übereinstimmung zwischen den beiden Ver-
fahren der Knochenalterschätzung.
Korrelationskoeffizient : 0.61

Die drei neuen Methoden zeigen im Vergleich mit dem Verfahren nach Greulich-Pyle ungünstigere Werte als mit der Planimetrie. Die Abstufungen entsprechen den Ergebnissen der planimetrischen Methode. Auch jetzt verschlechtert die eingebrachte Länge das Ergebnis des Korrelationskoeffizienten, jedoch ist der Unterschied nicht so gravierend.

Im Vergleich mit der Methode nach Tanner-Whitehouse (Abb. 44 - 46) kommt kein abweichendes Verhalten zum Ausdruck. Die Korrelation zwischen dieser Art der Knochenalterschätzung und den neuen Verfahren (Meth. IV und V) fällt sehr gut aus. Die Körperlänge - enthalten in der Methode VI - wirkt sich allerdings auch hier mindernd auf die Korrelation aus.

Die Korrelation zwischen den neuen Verfahren der Knochenalterschätzung (Methode IV; V; VI) ist gut, was auch nicht anders erwartet wurde. Die eingebrachte Länge vermindert auch hier die Güte der Übereinstimmung.

Noch eine weitere Berechnung wurde durchgeführt. Man errechnete den Korrelationskoeffizienten aus der Differenz der neuen Methoden IV - VI mit dem Kalenderalter auf das Kalenderalter (Tabelle 26), also $A - A_i$ auf A (A = Kalenderalter; A_i = Meth. IV- VI). Dabei darf kein Hinweis einer Übereinstimmung feststellbar sein; der Korrelationskoeffizient muß gegen Null gehen. Das Ergebnis dieser Berechnungen entspricht unseren Erwartungen.

Fl	versus	KA	0.57
Fl	"	IV	0.87
Fl	"	V	0.89
Fl	"	VI	0.75

Gr	versus	KA	0.48
Gr	"	IV	0.67
Gr	"	V	0.68
Gr	"	VI	0.61

Ta	versus	KA	0.58
Ta	"	IV	0.82
Ta	"	V	0.81
Ta	"	VI	0.72

Meth. IV	versus	Meth. V	0.99
Meth. IV	"	Meth. VI	0.81
Meth. V	"	Meth. VI	0.81

Tabelle 25 : Darstellung der Korrelationskoeffizienten zwischen den Knochenaltern der neu entwickelten Verfahren (Methode IV; V; VI) und den Knochenaltern der bisherigen Methoden (Planimetrie; Greulich-Pyle; Tanner-Whitehouse)

ρ_{Pl}	0.0637
ρ_{Gr}	0.435
ρ_{Ta}	0.018
ρ_{IV}	0.0038
ρ_V	0.0032

Tabelle 26 : Darstellung der Korrelationskoeffizienten
aus der Differenzrechnung ($A - A_i$ geg. A)
(A = Kalenderalter;
 A_i = Knochenalter Meth. IV - VI)

Aus dieser Tabelle 26 kann entnommen werden, daß die neuen Methoden, die aus einer Regressionsrechnung entwickelt wurden, günstiger als die eingeführten Verfahren abschneiden. Der Korrelationskoeffizient dieser neuen Verfahren aus der Differenzrechnung ist praktisch null.

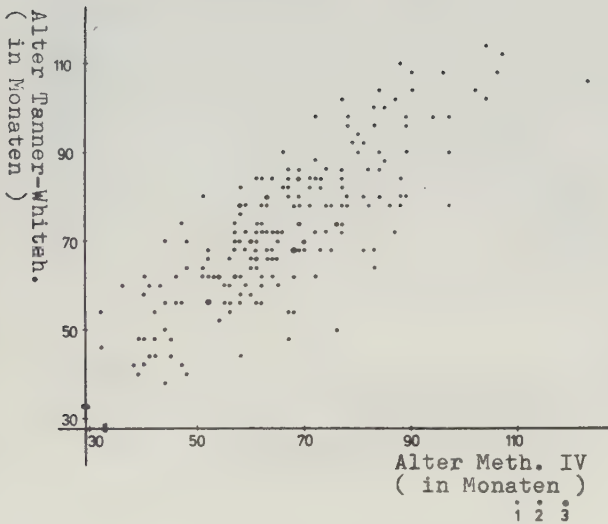


Abb. 44 : Korrelationsdiagramm
Knochenalter nach Methode IV (drei
Variable) - Knochenalter nach Tanner-
Whitehouse.
Zahlenangaben in Monaten
Die Übereinstimmung zwischen den beiden
Methoden ist recht gut. Das Punktedia-
gramm ist allerdings etwas breiter ge-
streut als beim Korrelogramm Methode IV
gegen das Planimetrische Verfahren.
Korrelationskoeffizient : 0.82

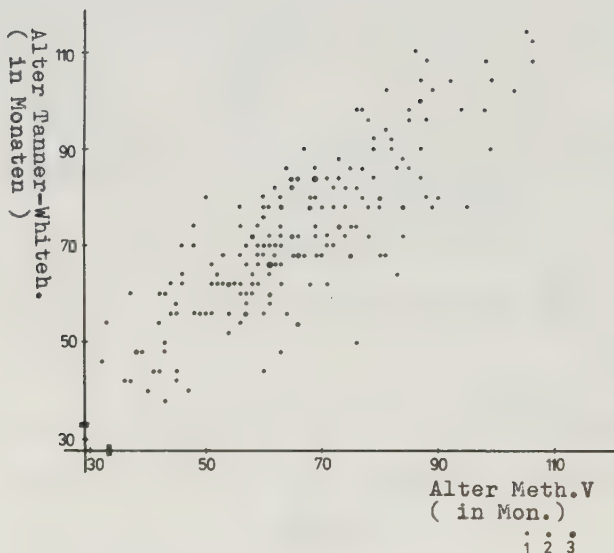


Abb. 45 : Korrelationskoeffizient
Knochenalter nach Methode V (zwei
Variable) - Knochenalter nach Tanner-
Whitehouse
Zahlenangaben in Monaten
Die Übereinstimmung zwischen den beiden
Verfahren ist ebenso gut wie bei der
Methode IV.
Korrelationskoeffizient : 0.81

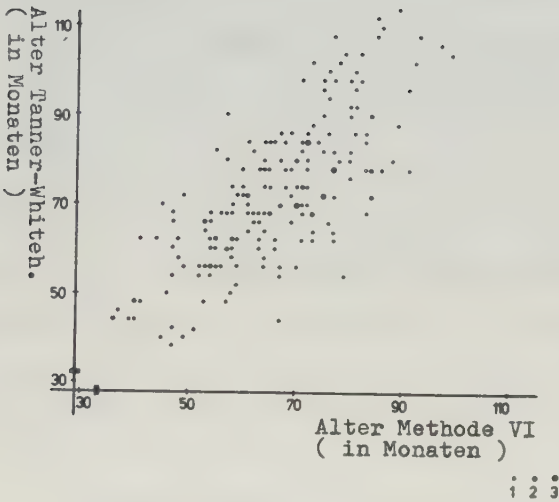


Abb. 46 : Korrelationskoeffizient
Knochenalter nach Methode VI (zwei
Variable und Körpergröße) - Knochenalter
nach Tanner-Whitehouse
Zahlenangaben in Monaten
Die Körpergröße der Methode VI verschlech-
tert die Korrelation zum Knochenalter nach
Tanner-Whitehouse. Im Diagramm zeigt sich
eine breitere Streuung der Punkte.
Korrelationskoeffizient : 0.72

In einer Zusammenfassung ist nun nochmals die Umkehrung vorhergehender Berechnung zusammengestellt, nämlich die Korrelationsberechnung von A_i auf A, also Methodenalter auf Kalenderalter. Das Ergebnis ist bekannt und erscheint in der Tabelle 27 nebeneinander gereiht. Alle Korrelationskoeffizienten zeigen ähnliche Güte. Die Methode nach Greulich-Pyle stimmt am schlechtesten mit dem Kalenderalter überein. Das Einbringen der Körpergröße verbessert die Korrelation mit dem chronologischen Alter erheblich.

§Pl	0.578
§Gr	0.475
§Ta	0.582
§IV	0.596
§V	0.592
§VI	0.732

Tabelle 27 : Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten der sechs Methoden zur Knochenalterbestimmung berechnet auf das Kalenderalter

(Pl = Planimetrie;
Gr = Greulich-Pyle;
TA = Tanner-Whitehouse;
IV = Methode IV, drei Variable;
V = Methode V, zwei Variable;
VI = Methode VI, zwei Variable und
Körpergröße)

DE I U S I C H

Die in Diagrammen (Abb. 4 - 7) dargestellten Verteilungen der Körpergröße und des Körpergewichtes (zur Bestätigung des Normkollektives) zeigen, daß die Mehrzahl der Daten knapp oberhalb der 50-Perzentile liegt. Das bedeutet, daß viele Kinder etwas größer und schwerer sind, als es dem für die Somatogramme zugrunde liegenden Zahlen entspricht. Dies weist gegenüber den Somatogrammen auf eine weitere Acceleration hin. Diese Wachstumsbeschleunigung ist bekannt. Sie wurde nach dem 2. Weltkrieg erneut beobachtet und beschrieben (13, 74).

Die Varianzanalyse ergibt, daß bei den untersuchten Kindern das Knochenalter nach der Methode Tanner-Whitehouse höher eingeschätzt wird als das Kalenderalter. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei der Schätzmethode nach Greulich-Pyle im Vergleich zum Kalenderalter ein niedrigeres Knochenalter, während das Ossifikationsalter, welches nach der messenden Methode, der Planimetrie, bestimmt wurde, mit dem chronologischen Alter übereinstimmt (Tabelle 1).

Ein ähnliches Verhalten der drei Methoden zur Ossifikationsalterbestimmung ergeben sich beim Vergleich mit dem Längen- beziehungsweise Gewichtsalter, was in einem späteren Abschnitt noch besprochen wird.

Roche et al. (52) führte - im Gegensatz zu dieser Arbeit - einen Vergleich nur zwischen den Methoden von Tanner-Whitehouse und Greulich-Pyle durch. Diese Arbeits-

gruppe untersuchte ein Kollektiv aus gesunden, normal entwickelten Kindern der Stadt Melbourne, die englischer Abstammung waren.

Roche et al. kommen wie wir bei unserem Kollektiv zu dem Ergebnis, daß das Knochenalter von Tanner-Whitehouse höher geschätzt wird als das Kalenderalter sowie jenes von Greulich-Pyle. Dies könnte verschiedene Ursachen haben.

Eine Ursache dafür könnte sein, daß englische Kinder tatsächlich langsamer reifen als amerikanische, zum zweiten kann der Grund im methodischen Unterschied liegen.

Der erste Punkt betrifft ein sehr wesentliches Problem. Er behandelt die Frage, in wie weit sich Methoden zur Knochenalterbestimmung auf andere Populationen anwenden lassen. Roche hat das in seiner Arbeit diskutiert und gefordert, die Angaben von Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse zu berichtigen, bevor die Tabellen auf andere Bevölkerungsgruppen übertragen werden.

Das Punktsystem ihrer Schätzung haben Tanner, Whitehouse und Healy an einer Gruppe von 2600 unausgewählten britischen Kindern entwickelt. Diese waren sozial erheblich schlechter gestellt als die amerikanischen Kinder, auf welchen der Atlas von Greulich-Pyle basiert.

Wird ein anderes Kollektiv nach einer der beiden Schätzmethoden untersucht - wie in unserem Fall oder bei Roche et al. - so wird der Unterschied der Methoden, der in den verschiedenen sozialen Verhältnissen der Kollektive begründet ist, deutlich. Jener Standard, welcher auf Kollektiven aus ungünstigeren sozialen Verhältnissen basiert, wird ein

normales Kollektiv überschätzen. Das zeigt sich beim Verfahren von Tanner-Whitehouse. Im anderen Fall wird die Methode, die von Kindern aus sehr günstigem Milieu abgeleitet wurde, ein normales Kollektiv unterschätzen, was bei Greulich-Pyle zutrifft.

Natürlich betrifft das Problem bei der Standardgewinnung nicht nur die soziale Situation. Es spielen genetische und Rassenunterschiede, familiäre Besonderheiten, aber auch die Gleichzeitigkeit eine Rolle. Was den letzten Punkt betrifft, ist die Schwierigkeit darin begründet, daß eine zunehmende Tendenz zu einer Acceleration und einer vorzeitigen Reife besteht. Angesichts dieser vielfältigen Probleme wird von vielen Autoren die Frage gestellt, ob eine generell gültige Standardgewinnung überhaupt möglich ist.

Es ist wahrscheinlich, daß zwischen der Entwicklung britischer und deutscher Kinder eine engere Beziehung besteht als zwischen deutschen und amerikanischen. Aus diesem Grunde findet sich bei unserer Untersuchung eine engere Verwandtschaft zwischen der Methode nach Tanner-Whitehouse und der Planimetrie als zur Methode nach Greulich-Pyle. In der Varianzanalyse zeigen die Mittelwerte der Methoden Tanner-Whitehouse und der Planimetrie, daß sie näher zu dem chronologischen Alter liegen als die Methode von Greulich-Pyle, welche das Knochenalter erheblich niedriger schätzt. Beim Verfahren Tanner-Whitehouse, das das Knochenalter gegenüber dem Kalenderalter und der Planimetrie etwas zu hoch ermittelt, kommt die der Population angepaßte Retardierung zum Ausdruck. Wie in einem vorderen Abschnitt besprochen, wurden die Standards von Tanner-Whitehouse von sozial weniger gut gestellten

britischen Kindern gewonnen. Bei Anwendung dieses Verfahrens auf eine Population aus günstigem Milieu kommt es zu einer Überschätzung durch Tanner-Whitehouse, die dem Unterschied entspricht, der zwischen normalen und in der Knochenreifung zurückgebliebenen Kindern besteht.

Ein Grund für die niedrigere Knochenalterschätzung durch Greulich-Pyle kann auch darin gesehen werden, daß das Knochenalter nach dieser Methode stufenförmig angegeben wird. Zwischenstufen werden nicht berücksichtigt. Zwischen zwei Standards liegende Formausbildungen einzelner Knochenkerne erhalten immer nur den niedrigeren Standard zugeordnet, und zwar so lange, bis der nächsthöhere Standard erreicht ist. Dies führt dazu, daß das Gesamtknochenalter der Kinder bei Greulich-Pyle immer zu niedrig angegeben wird.

Im Gegensatz zu Roche et al., die nur die Methode zur Knochenalterbestimmung von Tanner-Whitehouse mit der von Greulich-Pyle verglichen, wurde bei der vorliegenden Arbeit zusätzlich das planimetrische Verfahren in die Untersuchung einbezogen. Bei der Varianzanalyse zeigt die Mittelwertbildung, daß das planimetrische Knochenalter zwischen dem zu hoch geschätzten Ossifikationsalter der Methode Tanner-Whitehouse und dem zu niedrig ermittelten Knochenalter der Methode Greulich-Pyle sehr nahe beim chronologischen Alter liegt (Tabelle 1). Die gute Übereinstimmung mit dem Kalenderalter ist erstaunlich. Selbstverständlich wurden die planimetrischen Standards nicht an diesen Kindern gewonnen.

Aus dieser guten Übereinstimmung ist zwar zunächst nicht die Schlußfolgerung zulässig, daß damit die Planimetrie das Knochenalter am genauesten wiedergibt.

Aber diese enge Beziehung muß akzeptiert und in unsere Überlegungen einbezogen werden.

Die Untersuchungen wurden an Kindern im Alter zwischen vier und sieben Jahren durchgeführt. Besonders in diesem Zeitabschnitt beginnt im Bereich der Hand die Ossifikation vieler sekundärer Knochenkerne. Damit werden die Knochenkerne für Messungen erst faßbar. Da es sich um normal entwickelte und gesunde Kinder handelt, besteht durchaus die Möglichkeit, daß das planimetrische Knochenalter in der Nähe des tatsächlichen Alters liegt. Die Untersuchungen beschränken sich allerdings auf den schmalen Altersbereich von vier bis sieben Jahren. Hier könnte diese enge Beziehung zum Kalenderalter typisch sein. Eine Aussage über das Verhalten des planimetrischen Ossifikationsalters zum Kalenderalter während des gesamten Entwicklungsablaufes läßt sich aber aus dieser Arbeit nicht machen.

Die Gegenüberstellung der Mittelwerte aus Längen- und Gewichtsalter mit den Knochenaltern der drei Methoden erbringt kein grundlegend anderes Ergebnis als wie der Vergleich mit dem Kalenderalter. Längen- und Gewichtsalter liegen zwischen dem zu hoch bestimmenden Wert von Tanner-Whitehouse und der zu gering schätzenden Methode von Greulich-Pyle und stimmen gut mit dem chronologischen Alter überein (Tabelle 1). Sie unterscheiden sich nur unwesentlich vom planimetrischen Knochenalter.

Wie schon in einem früheren Abschnitt besprochen, wurden gesunde Kinder untersucht. Die Entwicklung dieses Normalkollektives war zeitgerecht; Größe und Gewicht standen in enger Beziehung zum Kalenderalter, wie das den Verteilungen der

Abbildungen 4 - 7 entnommen werden kann. Weiter wurde Längen- und Gewichtsalter über das Kalenderalter entwickelt. Zunächst bestimmte man aus einer genügend großen Zahl von Kindern Länge und Gewicht und kam somit zu einem umfangreichen Zahlenmaterial. Der umgekehrte Weg aus den interpolierten Tabellen führte dann von der Länge und Gewicht auf das Längen- und Gewichtsalter. Angesichts der Abhängigkeit zum chronologischen Alter und der Tatsache, daß das Längen- und Gewichtsalter über das Kalenderalter gewonnen wurde, kann kein anderes Ergebnis erwartet werden.

Im Vergleich zu den Mittelwerten der Varianzanalyse ergeben die Korrelationsberechnungen der drei Methoden der Knochenalterschätzung mit dem Kalenderalter etwas andere Resultate. Der Korrelationskoeffizient, der das Maß der Übereinstimmung zweier Veränderlicher angibt, ist bei der Schätzung von Tanner-Whitehouse und der Planimetrie mit dem Kalenderalter (für beide Methoden jeweils $r = 0.59$; Tabelle 14) wohl positiv, jedoch nicht so günstig, wie das auf Grund der Varianzanalyse erwartet worden ist. Die Übereinstimmung der Schätzmethode von Greulich-Pyle mit dem Kalenderalter fällt sogar noch deutlich schwächer ($r = 0.49$) aus. Der Grund hierfür liegt möglicherweise in der Methode selbst begründet und wird in einem späteren Abschnitt noch besprochen.

Die Güte einer Schätzmethode kann nicht am Grad der Übereinstimmung mit dem Kalenderalter gemessen werden. Medved et al. (38) meinen, daß das Knochenalter mit dem durch anthropometrische Messungen festgesetzten Entwicklungsgrad in viel näherer Beziehung steht als mit dem

Kalenderalter. Daher soll man die Bedeutung des chronologischen Alters nicht überschätzen, wenngleich es als Bezugswert in dem hier gemachten Methodenvergleich recht vorteilhaft ist. Es kann sicherlich betont werden, daß das Knochenalter als Ausdruck der biologischen Reife einzeln betrachtet keine so große Aussagekraft besitzt, weil eine Bezugsgröße fehlt. Im Kalenderalter sehen wir besonders in dieser Arbeit den unabhängigen Vergleichswert.

Bei der Betrachtung der Korrelationsdiagramme zwischen dem Kalenderalter und den Methodenaltern (Abb. 14-16) ergibt sich eine Drehung der Hauptachse der Punktwolke, welche die Korrelationsgerade darstellt, zur Winkelhalbierenden, der Linie also, die bei optimaler Übereinstimmung zweier Verfahren entsteht.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Deutung dieses Phänomens, das nur auftritt, wenn die drei Methoden dem Kalender-, Längen- und Gewichtsalter gegenübergestellt werden. Einmal kann es sich um einen Effekt der statistischen Berechnung handeln, oder die Ursache liegt am Untersuchungsgut.

Was den ersten Punkt betrifft, so sind derartige Kurvenverläufe bei der Regressionsrechnung beschrieben worden. Zwischen zwei Variablen kann eine Regression auf zwei Wegen gerechnet werden; als erstes von der Variablen 1 auf die Variable 2, in dieser Arbeit vom Methodenalter auf das Kalenderalter, und zweitens von der Veränderlichen 2 auf die Veränderliche 1, hier also von Kalenderalter auf das Methodenalter.

Welche Regressionsrechnung nun korrekter ist, ist selbst unter den Fachleuten noch umstritten. Jedenfalls neigt die größere Anzahl zu der Meinung, daß der letztere Weg der Regressionsrechnung weniger günstig ist, weil eine Altersabhängigkeit in vorher beschriebener Weise auftreten kann.

Bei der Entwicklung der einzelnen Schätzmethoden ging man natürlich vom Kalenderalter aus. Von einer genügend großen Zahl gleichalter Kinder wurden die notwendigen Parameter für die gewünschten Untersuchungen gewonnen. Die Ergebnisse daraus bildeten dann die Grundlagen für die Tabellen und Standards mit ihren statistischen Grenzwerten. Bei der Gewinnung des Ossifikationsalters wurde dann der rückläufige Weg beschritten, der die Möglichkeit einer systematischen Verzerrung in sich trägt.

Die zweite Ursache dieser Achsendrehung kann bei den untersuchten Kindern liegen. In diesem Altersabschnitt der Entwicklung ergibt sich zufällig, daß den jüngeren Kindern unseres Kollektives durch die Knochenalterbestimmungsmethoden ein höheres tatsächliches Alter zugeordnet wird und umgekehrt die kalendarisch älteren Kinder durch die Methoden geringer geschätzt werden. Es könnte sich aber auch um einen schmalen Ausschnitt eines einer Parabel ähnlichen Kurvenverlaufes handeln. Da der Altersbereich der beobachteten Kinder nur ein schmaler Sektor des Entwicklungsablaufes ist, muß diese Frage in dieser Arbeit unbeantwortet bleiben.

Die Korrelationsberechnung der drei Schätzmethoden mit dem Längen- und Gewichtsalter anstatt mit dem Kalenderalter bringt keine grundlegend anderen Ergebnisse. Die Übereinstimmung mit dem Längenalter ist gering besser als mit dem Gewichtsalter. Beide korrelieren mit den drei Verfahren zur Knochenalterbestimmung etwas besser als das chronologische Alter. Ursache kann die zusätzliche Information sein, welche das Längen- und Gewichtsalter erbringt. Lange et al. (33) meinen in einer Arbeit über das Altersäquivalent, daß die Altersschätzung verbessert werden kann, wenn nicht nur eine, sondern mehrere Größen mit Altersabhängigkeit in eine Schätzmethode mit einfließen. Eine solche zusätzliche Aussage ist im Längen- und Gewichtsalter enthalten.

Der Vergleich zwischen dem Längen- und Gewichtsalter bei der Korrelationsrechnung zu den drei Schätzmethoden zeigt ein ungünstigeres Resultat für das Gewichtsalter. Im Diagramm (Abb. 27; 29; 31) kommt das durch eine breitere Streuung der Punkte zum Ausdruck. Schon Kornfeld (32) stellte fest, daß zwischen der Länge und dem Längenalter eine weit engere Korrelation zum Ossifikationsalter besteht, als zum Gewichtsalter, wo er keine Beziehung zum Knochenalter fand.

Die Unterschiede der Korrelationskoeffizienten zum Längen- und Gewichtsalter zwischen den Methoden sind ähnlich gestaltet, wie das bei der Berechnung mit dem Kalenderalter zu sehen ist. Die planimetrische Methode der Knochenalterbestimmung korreliert am besten. Bei dem Verfahren von Greulich-Pyle zeigt sich ein deutlich ungünstigeres Ergebnis.

Die diskontinuierliche Verteilung dieser Schätzmethode wird sicher zu diesem schwächeren Abschneiden beitragen.

Die Korrelationsdiagramme zwischen den drei Methoden und dem Längen- und Gewichtsalter zeigen auch die schon beschriebene Achsendrehung des Hauptvektors der Punkte. Da das Längen- und Gewichtsalter vom Kalenderalter abgeleitet wurde, muß diese Drehung erwartet werden. Die Gründe dürften dieselben sein, wie sie beim Kalenderalter beschrieben worden sind.

Der Vergleich der Knochenalterschätzmethoden untereinander führt zu einer überaus engen Korrelation von planimetrischen und nach Tanner-Whitehouse gewonnenem Knochenalter. Da Tanner-Whitehouse bei ihrer Methode die Punktzumessung willkürlich vorgenommen haben, ist diese gute Übereinstimmung mit dem messenden Verfahren recht bemerkenswert. Es ist dies sicherlich ein Hinweis für die nahe Beziehung zwischen der Entwicklung deutscher und britischer Kinder. Eine wesentliche Schlußfolgerung scheint auch die zu sein, daß bei einer Messung auch morphische Kriterien in das Ergebnis einfließen müssen. Anders kann eine derart enge Beziehung zwischen zwei im Grundaufbau so unterschiedlicher Schätzmethoden nicht gedeutet werden.

Weit schwächer fällt die Übereinstimmung der Planimetrie und der Methode Tanner-Whitehouse mit dem Verfahren von Greulich-Pyle aus. Wieder scheint ein Grund die diskontinuierliche Verteilung bei dieser Ossifikationsalterbestimmung zu sein.

Es zeigt sich aber auch, daß zwischen der Entwicklung von deutschen und amerikanischen Kindern nicht der enge Zusammenhang besteht, wie er zu britischen Kindern zu beobachten ist.

Die Korrelationsberechnung der drei Knochenalterbestimmungsmethoden zwischen der linken und rechten Hand bringt bei unseren gesunden Kindern keine Unterschiede. Die Korrelation ist sehr hoch (Tabelle 16). Die Konsequenz aus diesem Ergebnis ist, daß wir uns bei den Untersuchungen auf eine Hand beschränken können. Man hat sich auf die linke Hand geeinigt und die statistische Auswertung legt die Befunde der linken Hand zugrunde.

In der Literatur sind Vergleiche mit einer messenden Methode bislang zu kurz gekommen. Mainland et al. (35) hat jedoch 1957 Unterschiede zwischen gemessenen und "inspectional" Methoden der Knochenalterbestimmung - also durch Zuordnung eines zu bestimmenden Knochenbildes gegen einen Standard oder ein Atlasbild - darzustellen versucht. Sie verwandten die Atlanten von Todd und Greulich. Die Methode Mainlands bestand in der Abmessung mehrerer Diagonalen im Handwurzelskelett (oblique line). Sein Ziel war, den unzweifelhaft bestehenden Zusammenhang zwischen der Größenzunahme und dem Formenwandel zu ergründen. In seinen Ergebnissen beschreibt er keine gravierenden Unterschiede zwischen den morphischen ("inspectional age") und der messenden

Methode, wobei dann einschränkend gesagt wird, daß die auf den "Mittellinien" basierenden Messungen einen echten Vergleich gar nicht zulassen. Die Skelettalterschätzung einzelner Kinder mit dieser Methode scheint ihm wenig nützlich, weil die Unterschiede zwischen der Messung und dem Vergleich mit den Atlanten von Film zu Film zu groß sind.

Die hier verwendete planimetrische Methode erfaßt die Größenzunahme und den Formwechsel der Knochenkerne sicher weit besser als die doch sehr einfache Messung Mainlands. Dennoch bleibt jede Messung mit dem Nachteil behaftet, daß die Endgröße eines Kindes in das Ergebnis einfließt. Neben diesem Problem findet Mainland aber auch die morphischen Verfahren - er stützte sich auf den Todd-Atlas und die Greulich-Pyle Standards - als nicht ideal und bezeichnet sie als sehr unreif. Auf die Mängel der einzelnen Verfahren wird in einem späteren Abschnitt noch genau eingegangen. Das neue Schätzsystem von Tanner-Whitehouse hat da sicherlich eine Verbesserung gebracht.

In zwei weiteren Hauptteilen dieser Arbeit hat Mainland Untersuchungen über Fehlermöglichkeiten bei der Auswertung von Röntgenbildern der Hand zur Knochenalterschätzung angestellt. Er unterscheidet den systematischen Fehler, der als "individueller" Fehler bei jedem Auswerter konstant bleibt, und den zufälligen Fehler, der sich in unterschiedlichen Ergebnissen bei mehrmaliger Auswertung desselben Röntgenbildes durch denselben Auswerter ausdrückt.

In dem Teil über die systematischen Irrtümer wurde eine Erkenntnis gewonnen, welche mit den Ergebnissen dieser Arbeit gut übereinstimmt. Bei einer Untersuchergruppe wurde

festgestellt, daß sie das Knochenalter zu gering schätzte, und daß eine Tendenz bestand, dieses bei der Methode von Greulich-Pyle noch niedriger zu ermitteln. Bei der Schätzung über den Todd-Atlas fiel das Ergebnis nicht so gering aus wie bei Greulich-Pyle. Die Unterschiede zwischen dem Kalender- und Knochenalter lagen in der Größenordnung von einem Monat bis zu zwei Jahren. Mainland nahm an, daß es sich bei diesem Resultat um ein "System" innerhalb der Schätzmethode handeln mußte. Die Erkenntnis Mainlands wird in dieser Arbeit voll bestätigt, wenngleich die Zielrichtungen beider Arbeiten völlig unterschiedlich sind.

Vergleichende Untersuchungen zwischen einzelnen morphischen Methoden sind schon mehrfach angestellt worden. Dabei waren häufig der Todd-Atlas und auch die Standards von Greulich und Pyle Grundlagen. Vergleiche mit dem Verfahren von Tanner-Whitehouse gibt es erst aus jüngerer Zeit.

Die Ergebnisse in den verschiedenen Veröffentlichungen decken sich weitgehend mit denen in unserer Arbeit. Acheson (3, 4) fand ein geringeres Skelettalter als er dem Kalenderalter zufolge erwartete. Seine Untersuchungen basieren auf dem Atlas von Todd, der später von Greulich-Pyle verbessert und ausgebaut wurde. Bei einer Untersuchung genetischer Krankheitsbilder (Turner-Syndrom; Ovarial-Dysgenese) fand er ebenfalls eine Tendenz, daß das Knochenalter gern unterschätzt wird, wobei auch eine Retardierung britischer Kinder gegenüber amerikanischen auffiel (77).

In ihrer Langzeitstudie wiesen Hansman und Maresh (25)

ebenfalls auf ein zu geringes Skelettalter gegenüber dem chronologischen Alter hin. Bei ihren Untersuchungen lag der Atlas von Greulich-Pyle zugrunde. Das Verhalten des Skelettalters wurde besonders von der Säuglingszeit bis zum Erwachsenenalter beobachtet. Während der Säuglingszeit wurden zwischen Knochen- und Kalenderalter keine großen Unterschiede gefunden.

In einer Veröffentlichung von Weil (76), welche die Skelettreifung juveniler Diabetiker untersucht, entdeckt der Verfasser eine zu geringe Knochenalterschätzung sowohl bei kranken als auch gesunden Kindern. Die Unterschiede zum chronologischen Alter betrugen zwischen 4 und 9 Monaten, also ebenfalls Zahlenangaben, welche mit unseren Resultaten gut übereinstimmen.

Zwei Arbeiten von Roche (51;52) und Acheson (3) et al. stellen besonders die Unterschiede zwischen den Knochenalterschätzungsmethoden von Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse heraus. Die Veröffentlichung von Roche et al. wurde schon in einem früheren Abschnitt genau besprochen. Wichtig ist noch ihr Hinweis, daß die Angaben von Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse berichtigt werden sollten, bevor die Tabellen an anderen Populationen angewendet werden. Acheson et al. finden wie Roche, daß das Knochenalter bei Greulich-Pyle gegenüber dem Kalenderalter zu gering ermittelt wird und daß das umgekehrte Verhalten bei der Methode von Tanner-Whitehouse beobachtet wird. Erneut können wir deren Ergebnisse voll bestätigen.

Das gleiche Verhalten der Schätzungsmethode von Tanner-White-

house einerseits und dem Verfahren von Greulich-Pyle andererseits gegenüber dem chronologischen Alter stellte die Züricher Arbeitsgruppe (9) fest.

Die einzelnen Methoden sind unabhängig von ihrem Wert für die Knochenalterbestimmung mit Mängeln behaftet, die besprochen werden müssen.

Bei der Methode Greulich-Pyle wird nicht ein Zeitpunkt, sondern eine Zeitspanne für ein Ereignis angegeben, welche anfangs drei Monate und zuletzt zwölf Monate umfaßt. Dabei läßt sich erkennen, daß die Entwicklungsstufen nicht kontinuierlich über die ganze Zeit aufeinander folgen, sondern daß zwischen den Formereignissen unterschiedlich große Zeitabstände liegen, in welchen kein Ereignis auftritt. Die Frage, ist ein Ereignis eingetreten oder nicht, kann aber nur mit "ja" oder "nein" beantwortet werden. Es ist nicht möglich, intermediäre Stufen zu beschreiben. Außerdem gibt es bei Greulich-Pyle Sequenzen, wo es scheinbar rückwärts geht, in Wirklichkeit die Grenzen jedoch sehr unscharf sind.

Um einem für den Kliniker brauchbaren, das heißt einigermaßen definierten Knochenalter näher zu kommen, muß das Verteilungsmuster der Einzel-Knochenalter weiter aufgearbeitet werden. Wie wir gesehen haben, sind nun bei der Schätzmethode von Greulich-Pyle diese Einzelknochenalter sehr diskontinuierlich verteilt. Zwischen den unterschiedlichen breiten Klassen bestehen unterschiedlich breite,

informationslose Intervalle. Darüber hinaus sind nicht alle Reifeindikatoren gleichwertig. Der Zeitpunkt des ersten Erscheinens und der Zeitpunkt des Epiphysenschlusses ist zweifellos bei allen Einzelelementen gleichwertig, sonst besteht keine Möglichkeit einer objektiven Wichtung.

Die Bildung eines arithmetischen Mittels ist daher ganz ausgeschlossen. Als approximatives Knochenalter kann nur der Medianwert angegeben werden, der besagt, daß die eine Hälfte der Ereignisse jünger, die andere Hälfte älter ist.

Der erhaltene Medianwert entspricht nun einem der vorgegebenen Entwicklungsstufen-Alter. Die so gewonnenen Knochenalter verschiedener Hände sind daher bei einer überindividuellen Längsschnittuntersuchung ebenfalls gestuft. Die Verteilung verschiedener Knochenalter bleibt diskontinuierlich. Verläufe sind demnach nicht geradlinig, sondern je nach den Intervallen zwischen den Entwicklungsstandards erfolgen sie in verschieden hohen und verschieden breiten Stufen.

Bei Tanner-Whitehouse, welche die Arbeiten von Acheson fortführten, hat man einen anderen Weg eingeschlagen. Um eine größere Homogenität und eine kontinuierliche Verteilung zu erreichen, haben diese ein Punktsystem entwickelt. Hier wird jede einzelne Entwicklungsstufe eines jeden einzelnen Knochenkernes mit einer Punktzahl gewichtet.

Setzen wir voraus, daß die vorgeschlagene Wichtung zu akzeptieren ist, dann können die einzelnen Punktwerte tatsächlich

als homogene, numerische Verteilung angesehen werden; es kann eine Punktsumme gebildet werden, die nach entsprechender Umrechnung in ein Gesamthand-Knochenalter bei Vergleich mehrerer Kinder untereinander oder eines Kindes in einer Längsschnitt-Untersuchung eine kontinuierliche Verteilung, respektive Sequenz ergibt.

Nach dem ersten Score-System von 1962 (65) erschien 1972 der Tanner-Whitehouse II, eine Arbeit, die aus verschiedenen Gründen eine Verbesserung darstellt (66, 67).

Einmal wurden schwierig zu diskriminierende Entwicklungsstufen wie z.B. "der Knochen hat seine Reifeform erreicht" oder "der Epiphysenschluß ist abgeschlossen" eliminiert. Zum anderen wurde in einen 2o-Knochen-Score, einen Radius-Ulna-kleine Epiphysen-Score und einen Carpalia-Score unterschieden.

Die Tanner-Whitehouse Bestimmungsmethode des Knochenalters hat viele Vorzüge gegenüber der Einzel-Skelettalter-Bestimmung von Greulich-Pyle. Aber sie ist noch nicht allgemein akzeptiert. Vielleicht liegt dies daran, daß die Zuweisung der Punktwerte zu den einzelnen Entwicklungsstufen vollkommen willkürlich erfolgte.

Bei der planimetrischen Methode ist die Fläche eines Knochenkernes Grundlage für die Altersbestimmung. Sehen wir von der verlorenen dritten Dimension des Ossifikationskernes senkrecht zur Ebene des Röntgenfilmes ab, die natürlich bei jedem Knochenkern unterschiedlich ist, bleibt bei der

Planimetrie der Projektionsflächen in jedem Fall immer das gleiche, nämlich die Größe der Fläche. Die Werte sind definitionsgemäß homogen und können daher ohne Wichtung in üblicher Weise arithmetisch und statistisch behandelt werden.

Aus der Streuung der Einzelwerte ergibt sich eine Varianz; daraus kann der Varianz-Koeffizient gebildet werden, der ein Ausdruck der gegebenen Asynchronie oder Synchronie ist. Aus dem arithmetischen Mittel ergibt sich mit einem gut zu definierenden Vertrauensbereich ein mittleres karpometrisches Knochenalter, das direkt mit anderen Entwicklungsaltern verglichen werden kann.

Sowohl im Querschnitt- wie im Längsschnittvergleich sind die karpometrischen Knochenalter kontinuierlich verteilt. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, schon kurzfristig Zuwachsraten zu bestimmen, die bei der Kontrolle eines aktuellen Verlaufes für den Kliniker von großem Wert ist.

Bei Querschnittuntersuchungen an wachstumsgesunden Kindern, die durch Fendel angestellt wurden - es wurden mehr als 6500 Röntgenbilder ausgewertet - , ergab sich, daß das planimetrische Knochenalter durch alle Lebensalter kontinuierlich ansteigt, jedoch nicht linear, sondern wie schon betont, in komplizierterer Form.

Der Nachteil des karpometrischen Verfahrens besteht jedoch darin, daß der gewonnene Wert niemals für sich allein genommen ein echtes Knochenalter sein kann. Zwar stimmt es nicht, daß es sich hierbei einzig und allein um das Maß einer Massenzunahme handelt.

Nach Mainland (36) besteht unzweifelhaft eine enge Beziehung zwischen der Größenzunahme und dem Formwechsel.

Bei der Planimetrie wird mit Einsetzen der Ossifikation bei einem bestimmten Entwicklungsalter die Projektionsfläche des Knochenkernes gemessen. Ist die Knorpelmatritze vollständig verknöchert, wird mit dieser Messung nur noch das Wachstum verfolgt. Das bedeutet, daß in den ersten Jahren durch das metrische Verfahren sehr wohl eine Reifung und Differenzierung, später aber mehr eine Massenzunahme erfaßt wird.

Je älter das Kind ist, umso stärker wirkt sich die Endgröße des Kindes aus. Bei gleicher "Reife" haben groß werdende Kinder große Handwurzelknochen, klein werdende Kinder entsprechend kleinere.

Isoliert betrachtet sind demzufolge metrische Verfahren der Knochenalterbestimmung praktisch wertlos, als Hilfsgröße zu den morphischen Ossifikationsaltern unserer Meinung nach jedoch sehr hilfreich. Mit ihrer Hilfe läßt sich eine statistisch verhältnismäßig leicht herstellbare Größe und die Varianz, die Ausdruck der Asynchronie ist, gewinnen, die bei Tanner-Whitehouse ganz verloren geht und bei Greulich-Pyle wohl nur mit schwierigen Rechenoperationen darzustellen wäre.

Eine von v. Harnack (26) geäußerte Skepsis gegenüber den morphischen Methoden der Knochenalterbestimmung von Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse - er meint, daß die skelett reife nur dann ein brauchbarer Maßstab sei, wenn sich innerhalb einer Zeiteinheit genügend Entwicklungskriterien

fassen lassen - ist gegenüber der Planimetrie nicht angebracht, bei der Zuwachsraten in kurzen Zeiteinheiten ohne Wichtung ermittelt werden können.

Durch die Messung umgeht die Planimetrie auch ein weiteres Problem, das wiederum Mainland (35, 36) angesprochen hat. Er glaubt, daß die morphischen Methoden auch deshalb zu Fehlern führen können, weil bei den Knochenalterschätzungen das tatsächliche Alter der Kinder bekannt ist. Dies kann zu einer nicht mehr objektiven Beurteilung eines Knochenkernes durch den Betrachter beim Vergleich mit dem Standard führen.

In einem zusätzlichen Abschnitt dieser Arbeit wurde versucht, den zeitraubenden Ablauf der Ossifikationsaltersbestimmung durch die Planimetrie zu vereinfachen, ohne die Genauigkeit der Schätzung zu beeinträchtigen. Mittels einer Regressionsrechnung wurden die Regressionsformeln IV - VI entwickelt.

Die Aussagekraft der zuerst erscheinenden Handwurzelkerne - Capitatum, Hamatum und Radius-Epiphyse - ist schon so groß, daß die zeitlich als nächste erscheinenden Ossifikationszentren keine zusätzliche Information mehr erbringen und daher in einer Regressionsformel ohne Nutzen sind. Für den Auswerter bedeutet dies den Vorteil einer Vereinfachung und Zeitersparnis, ohne daß damit eine Qualitätseinbuße in Kauf genommen werden muß.

Garn, Rohmann und Silverman (19) haben 1967 versucht, den Wert der einzelnen Ossifikationszentren aller Körperregionen mittels einer Rangfolge zu bemessen. Dabei wurden zweierlei Tabellen erstellt, einmal nach dem Erscheinungszeitpunkt und dann eine Liste über die Aussagekraft dieser 73 postnatal entstehenden Knochenkerne. Während in der ersten Tabelle die drei von uns verwendeten Knochenkerne (Capitatum, Hamatum, Radius-Epiphyse) schon an vorderer Stelle zu finden sind, zeigt die zweite Tabelle ein davon abweichendes Bild. Die drei Knochenkerne sind in der Rangfolge weit hinten.

Letztere minderwertigere Bemessung der von uns benutzten Ossifikationszentren ist aber keinesfalls mit einer geringeren Aussagekraft der drei Regressionsmethoden gekoppelt, wie man jetzt folgern könnte. Der Erscheinungszeitpunkt eines Knochenkernes spielt eine erhebliche Rolle, Er gewinnt in dieser Arbeit noch an Bedeutung hinzu, weil hier Vorschulkinder ausgewertet wurden, bei denen nicht immer schon alle Ossifikationszentren zu erkennen waren. Ein Knochenkern, dessen Aussagewert für das Skelettalter hoch ist, wird für jede Schätzung bedeutungslos, wenn er noch nicht erschienen ist. So gesehen sind die beiden Tabellen nur in der Synthese zu verwenden und für uns akzeptabel.

In ihrer Arbeit weisen die Verfasser auch darauf hin, daß nur eine ausgewählte Gruppe von Ossifikationszentren nützlich ist, weniger die ganze Anzahl der sekundären Knochenkerne. Angesichts der überaus hohen Strahlenbelastung bei einer Röntgen-Untersuchung des ganzen Skeletts, ist das auch sinnvoll. Sie bieten auch schon ein vereinfachtes System der Skelettalterschätzung an.

Berechnungsgrundlage der Regressionsmethoden IV und VI sind die tatsächlichen über die Planimetrie gewonnenen Größen der drei genannten Handwurzelkerne. Bei dem VI. Verfahren ist die Körpergröße in Zentimetern eingearbeitet.

Die Regressionsverfahren stellen einen guten Ersatz für die bislang von uns verwendete Methode dar, bei welcher alle zehn Handwurzelkerne ausgemessen wurden. Die Mittelwerte stimmen fast mit dem Kalenderalter überein (Tab.22) und fallen sogar gering besser aus als bei der Berechnung mit den zehn Variablen. Diese günstige Übereinstimmung ist natürlich durch die Tatsache begründet, daß die Regressionsformeln auf der Basis der Planimetrischen Methode mit dem vorliegenden Material entwickelt wurden. Es ist daher notwendig, die neuen Formeln für die Knochenalterschätzung an einem anderen Kollektiv zu überprüfen.

Die Korrelationsberechnungen zeigen, daß zwischen dem Verfahren mit den Regressionsformeln eine ähnliche Übereinstimmung zum Kalenderalter herrscht, wie das bei der bisherigen planimetrischen Methode gefunden wurde. Die Korrelation verbessert sich erheblich, wenn die Körperlänge in die Formel eingebracht wird, (Tab. 24), was bei der Methode VI geschehen ist. Dies wird verständlich, wenn berücksichtigt wird, daß eine sehr enge Abhängigkeit der Körpergröße zum chronologischen Alter besteht.

Die Resultate der Korrelation zwischen den herkömmlichen Verfahren (Greulich-Pyle; Tanner-Whitehouse; Planimetrie) und den drei Methoden zeigen ein abweichendes Bild. Während die Übereinstimmung der Methoden IV und V mit der Planimetrie und der Schätzung von Tanner-Whitehouse sehr gut

ist - das Ergebnis von Greulich-Pyle liegt deutlich hinter diesen beiden zurück -, nimmt die Güte der Korrelation durch Einbeziehung der Länge (Methode VI) erheblich ab (Tab. 25). Das ist zunächst nicht so ganz verständlich, wird aber wohl einsehbar, wenn wir vorliegende Zahlen nochmals betrachten.

Korrelationskoeffizienten sind als Maß der Übereinstimmung zwischen zwei Methoden zu sehen. Ändert sich eine Größe, sei dies in einer Verschlechterung oder Verbesserung - wie in unserem Falle durch die Körpergröße -, so muß das zu einer Veränderung des Maßes der Übereinstimmung führen. Die Korrelation wird schwächer. Genau dies wird in unserem Vergleich zwischen den herkömmlichen planimetrischen und der Formel VI mit der Länge deutlich.

Die Länge verbessert die Korrelation mit dem Kalenderalter so erheblich (Tab. 24), daß dies bei einem Vergleich zwischen den Methoden zu einer minderen Übereinstimmung führen muß.

Dieses Ergebnis stellt sich im Vergleich der neuen Methoden mit den Ossifikationsaltersbestimmungen nach Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse ganz ähnlich dar. Auch hier erbringt die Verwendung der Körpergröße mäßigere Korrelationsergebnisse. Die Gründe sind eben angeführt worden.

Die Güte der Methoden IV bis VI wird nochmals an einer Differenzrechnung aufgezeigt (Tab. 26). Hier wurde die Korrelation zwischen der Differenz aus Kalenderalter und Methodenalter gegen das Kalenderalter errechnet, wobei es zu keiner Übereinstimmung kommen darf, der Korrelationskoeffizient also gegen Null gehen muß. Es wird recht deutlich demonstriert,

daß die bisherigen Verfahren von den neu entwickelten Methoden gut ersetzt werden. Wenn wir desweiteren den wesentlich geringeren Aufwand berücksichtigen, sollten wir in Zukunft das Ossifikationsalter nach diesen Verfahren gewinnen. Vorher allerdings sollten die Verfahren, wie schon bemerkt, an einem anderen Kollektiv normaler Kinder überprüft werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe von Röntgenaufnahmen der Hand wurden bei 228 normalen, gesunden Kindern (136 Knaben und 92 Mädchen) Knochenalterschätzungen nach den Methoden von Greulich-Pyle, Tanner-Whitehouse und der Planimetrie vorgenommen und miteinander, sowie mit dem Kalender -, Längen - und Gewichtsalter verglichen. Die Untersuchungen wurden überwiegend an den linken Händen durchgeführt, weil, wie auch diese Arbeit zeigt, eine hohe Übereinstimmung zwischen der linken und rechten Hand besteht.

Das Patientengut setzte sich aus normalen, gesunden Kindern im Vorschulalter aus verschiedenen Kindergärten Münchens zusammen. Den Graphiken 4 mit 7 ist zu entnehmen, daß Größe und Gewicht der Kinder zwischen der 3- und 97- Perzentile liegen, in der Mehrzahl gering über der 50- Perzentile. Dies zeigt, daß die Kinder etwas größer und schwerer sind, als das nach den zugrunde liegenden Zahlenmaterial erwartet wird. Es muß eine weitere Acceleration angenommen werden.

Die Varianzanalysen bringen als Ergebnis eine enge Übereinstimmung des planimetrischen Knochenalters mit den Kalenderalter, aber auch Längen- und Gewichtsalter. Die Methode nach Greulich-Pyle schätzt das Knochenalter zu gering, während das Verfahren von Tanner-Whitehouse ein zu hohes Ossifikationsalter ermittelt. Bei der Differenzbildung zwischen den Methodenaltern und dem Kalender-, Längen-

und Gewichtsalter führt diese unterschiedliche Knochenalterbestimmung zu entsprechend unterschiedlichen Verschiebungen der Verteilungen. Während beim planimetrischen Verfahren eine recht symmetrische Verteilung um den Nullpunkt beobachtet wird, wird diese bei der Methode von Greulich-Pyle in den negativen und bei Tanner-Whitehouse in den positiven Bereich der Graphik verschoben. Dieselben Verschiebungen treten bei der Differenzbildung mit dem Längen- und Gewichtsalter auf.

Als Grund für diese unterschiedlichen Knochenalterschätzungen durch die Verfahren wurden die anderen sozialen Verhältnisse der Kollektive bei Entwicklung entsprechender Bestimmungsmethoden des Ossifikationsalters diskutiert. Die niedrigere Schätzung durch das Verfahren von Greulich-Pyle kann auch zusätzlich darin begründet liegen, daß bei dieser Methode keine Zwischenstufen angegeben werden. Es wird folglich immer nur der niedrigere Standard angegeben, bis die Formausbildung des Knochenkern den nächsten Standard erreicht hat. Das führt dazu, daß das Gesamtknochenalter der Kinder immer zu niedrig angegeben wird.

Die Korrelationsrechnung der drei Methoden mit dem Kalender-, Längen- und Gewichtsalter stellt eine weniger gute Übereinstimmung zwischen den Vergleichsgrößen fest. Der Korrelationskoeffizient liegt zwischen 0.5 und 0.6 (Tabelle 14; 19). Es zeigt sich, daß das Knochenalter des planimetrischen Verfahrens und der Methode Tanner-Whitehouse besser mit dem Kalenderalter übereinstimmt als das Knochenalter nach Greulich-Pyle. Ein gleiches Ergebnis erbringt der Vergleich

zum Längen- und Gewichtsalter, wobei die Korrelation zum Gewichtsalter insgesamt noch etwas schwächer ausfällt.

Der Vergleich der Knochenalter der drei Methoden untereinander erbringt eine sehr enge Beziehung zwischen dem planimetrischen Verfahren und dem von Tanner-Whitehouse. Die Korrelation zur Methode Greulich-Pyle ist deutlich geringer. Als Ursache hierfür kann eine nähere Verwandtschaft in der Entwicklung zwischen britischen und deutschen Kindern als zwischen amerikanischen und deutschen Kindern angenommen werden. Einen erheblichen Anteil an dieser ungünstigeren Übereinstimmung kann man aber auch der diskontinuierlichen Verteilung beim Verfahren von Greulich-Pyle zusprechen. Die gute Korrelation zwischen der messenden Methode (Planimetrie) und einem morphischen Verfahren (Tanner-Whitehouse), also zweier im Aufbau völlig unterschiedlicher Methoden zur Knochenalterschätzung, läßt die Schlußfolgerung zu, daß bei einer Messung auch morphische Kriterien in das Ergebnis einfließen müssen. Da sich diese Arbeit nur mit dem Vorschulalter (zwischen 4 und 7 Jahren) auseinandersetzt, kann diese Aussage nur für diesen Altersbereich gelten.

Es kann festgestellt werden, daß der Arbeitsaufwand der Knochenalterschätzmethode ziemlich gleich aufwendig ist. In einem Abschnitt haben wir versucht, die Auswerttechnik beim planimetrischen Verfahren so zu kürzen, ohne daß damit die Genauigkeit des Verfahrens leidet. Dies gelang mittels einer aufsteigenden Regressionsrechnung. Hier wurde aufgezeigt, daß zwischen den erst erscheinenden sekundären Knochenkernen (Capitatum, Hamatum, Radius-Epiphyse) und den weiteren Ossifikationszentren der Handwurzel eine so große

Abhängigkeit herrscht, daß durch sie keine zusätzliche Information für die Knochenalterschätzung erbracht wird. Ein Verfahren kann sich demnach auf die drei oder auch zwei ersten Knochenkerne beschränken. Wir haben diese neuen Schätzmethode, die über eine Regressionsrechnung entstanden sind, als Methode IV (drei Variable : Capitatum, Hamatum, Radius-Epiphyse) und als Methode V (zwei Variable : Capitatum, Radius-Epiphyse) bezeichnet. Bei Methode VI wurde zusätzlich die tatsächliche Körpergröße in die Regressionsformel aufgenommen.

Die Ergebnisse der Varianzanalyse und der Korrelationsrechnung zeigen dann auch, daß sich die neuen Verfahren sehr ähnlich wie die planimetrische Methode mit zehn Veränderlichen zum Kalender-, Längen- und Gewichtsalter aber auch zu den morphischen Methoden verhalten.

Die Methode VI mit der Körpergröße macht hier eine Ausnahme. Die Länge führt zu einer erheblichen Verbesserung der Korrelation zum Kalender-, Längen- und Gewichtsalter. Entgegengesetztes Bild allerdings zeigt die Korrelationsrechnung zwischen dieser Methode VI mit dem ursprünglichen planimetrischen Verfahren, sowie den Methoden Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse. Hier führt die Körpergröße zu einer geringeren Übereinstimmung. Die Erklärung hierfür liegt in der Korrelationsrechnung begründet. Der Korrelationskoeffizient beschreibt die Übereinstimmung zweier Verfahren. Er ändert sich, wenn eine Methode durch einen zusätzlichen Faktor verbessert oder auch verschlechtert wird.

Es läßt sich zusammenfassend sagen, daß die neuen Methoden die bisherigen Verfahren gut ersetzen. Der Arbeitsaufwand wird durch die neuen Methoden erheblich reduziert.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Acheson, R.M.
A method of assessing skeletal maturity from radiographs.
A report from the Oxford Child Health Survey.
J. Anat. (Lond.) 88, 498 (1954)
2. Acheson, R.M., Fowler, G., Frey, E.I. et al.
Studies in the reliability of assessing skeletal maturity
from x-ray. Part I : Greulich-Pyle atlas
Hum. Biol. 35, 317 (1963)
3. Acheson, R.M., Vicinus, J.M., Fowler, G.B.
Studies in the reliability of assessing skeletal maturity
from x-ray : Part III : Greulich-Pyle atlas and Tanner-
Whitehouse method contrasted.
Hum. Biol. 38, 204 (1966)
4. Acheson, R.M., Kemp, F.H., Parfit, J.
Height, weight, and skeletal maturity in the first five
years of life.
Lancet 1955/I, 691
5. Baldwin, C.R., Busby, L.M., Garside, H.V.
Anatomic Growth of children. A study for some bones of the
hand and wrist and lower fore arm by means of roentgeno-
grams.
Univ. of Iowa Studies. Stud. child welfare 4, Nr. 1 (1928)
6. Bardeen, C.R.
Relation of ossifikation to physiological development.
J. Radiol. 2, 1 (1921)
7. Bayley, N., Pinneau, S.R.
Tables for predicting adult height from skeletal age:
revised for use with the Greulich-Pyle hand standards.
J. Pediat. 40, 423 (1952)

8. Beresowski, A., Lundie, J.K.
Sequence in the time of ossification of the carpal bones in 705 African children from birth to six years of age.
S. Afr. J. med. Sci. 17, 25 (1952)
9. Budlinger, H., Morscher, E., Prader, A., Eklöf, O., Gefferth, K., Fendel, H.
Das Knochenalter. Methodische und klinische Probleme. Radiologe 11, 296 (1971)
10. Bugyi, B.
Röntgenologische Wachstumsuntersuchungen an der Hand ungarischer Knaben.
Ärztl. Jugendk. 55, 343 (1967)
11. Carter, T.M.
Technique and devices used in radiographic study of the wrist bones of children.
J. Educ. Psychol. 17, 237 (1926)
12. Cattel, P.
Preliminary report on the measurment of ossification of the hand and wrist.
Hum. Biol. 6, 454 (1934)
13. Döpper, Th.
Entwicklung des kindlichen Skelettes.
Med. Welt (N.F.) 27, 142 (1976)
14. Elgenmark, O.
The normal development of the ossific centers during infancy and childhood: Clinical, roentgenologic, and statistical study.
Acta paediat. (Uppsala) 33, 1 (1946)

15. Fendel, H.
Karpogramm als Hilfsmittel bei der Behandlung von Schilddrüsenfunktionsstörungen im Kindesalter.
Msch. Kinderheilk. 113, 285 (1965)
16. Flory, D.D.
Osseous development in the hand as an index of skeletal development.
Monogr., Soc. Res. Child Develop. 1, 111 (1936)
17. Garn, S.M., Rohmann, Ch. G.
Communalities of the ossification centers of the hand and wrist.
Amer. J. phys. Anthrop. 17, 319 (1959)
18. Garn, S.M., Rohmann, Ch.G.
Variability in the order of ossification of bony centers of the hand and wrist.
Amer. J. Phys. Anthrop. 18, 219 (1960)
19. Garn, S.M., Rohmann, Ch.G., Silvermann, F.N.
Radiographic standards for postnatal ossification and tooth calcification.
Med. Radiogr. and Photogr. 43, 45 (1967)
20. Graser, E.
Handwurzelentwicklung in den ersten Lebensjahren und Rachitis.
Z. Kinderheilk. 60, 30 (1938)
21. Greulich, W.W.
The rationale of assessing the development status of children from roentgenograms of the hand and wrist.
Child Develop. 21, 33 (1950)
22. Greulich, W.W., Pyle, S.I.
Radiographic Atlas and Skeletal Development of the Hand and Wrist.
Stanford Calif., Stanford Univ. Press 1950

23. Greulich, W.W., Pyle, S.I.
Radiographic Atlas of Skeletal Development of the
Hand and Wrist. 2. Ed.
Stanford Calif., Stanford Univ. Press 1959
24. Gruber, W.
Über die sekundären Handwurzelknochen des Menschen.
Arch. Anat., Phys. u. wissenschaft. Medizin 565 (1866)
25. Hansman, Ch.F., Maresh, M.M.
A longitudinal study of skeletal maturation.
Amer. J. Dis. Child. Vol. 101, 305 (1961)
26. Von Harnack, G.
Skelettreife und Entwicklungsdiagnostik.
Mschr. Kinderheilk. 113, 283 (1965)
27. Hasan, M., Narayan, D.
The ossification centres of carpal bones.
A radiological study of the time of appearance in
U.P. Indian Subjects.
Indian J. med. Res 51, 917 (1963)
28. Heimann, A., Pot eschnigg, K.
Über die Ossifikation der kindlichen Hand.
Kinderheilk. 65, 437 (1907)
29. Heimendinger, J.
Neue Standardmaße für Kinder.
Helv. paediat. Acta 13, 471 (1958)
30. Johnston, F.E.
Skeletal age and its prediction in Philadelphia
children.
Hum. Biol. 35, 192 (1963)

31. Konrad, M.R.
Untersuchungen über die Beziehungen zwischen dem Stand der Ossifikation des Handwurzelskeletts und der geistig-seelischen Reifung bei achteinhalbjährigen Knaben.
Z. Menschl. Vererb.- u. Konstit.- Lehre 171 (1957)
32. Kornfeld, W.
Handwurzelossifikation und Habitusentwicklung in den ersten vier Lebensjahren.
Z. Kinderheilk. 58, 388 (1936)
33. Lange, H.-J., Reiter, R., Welzl, G., Neiss, A.
Das Altersäquivalent - ein Verfahren der Datenverdichtung bei Auswertung multivariabler epidemiologischer Studien.
Meth. Inform. Med. 12, 61 (1973)
34. Mainland, D.
Evaluation of the skeletal age method of estimating children's development. I. Systematic errors in the assessment of roentgenograms.
J. Pediat. 12, 114 (1953)
35. Mainland, D.
Evaluation of the skeletal age method of estimating children's development. II. Variable errors in the assessment of roentgenograms.
J. Pediat. 13, 165 (1954)
36. Mainland, D.
Evaluation of the skeletal age method of estimating children's development. III. Comparison of measurement and inspection in the assessment of roentgenograms.
J. Pediat. 20, 979 (1957)

37. Markuske, H.
Röntgenologische Untersuchungen der Handwurzelknochen
adipöser Kinder.
Z. Kinderheilk. 106, 225 (1969)
38. Medved, R., Horvat, V., Petroveic, F.
Determination of the physiological age (German text).
Med. Welt(N.F.)31, 1605 (1960)
39. Munk, L.
Die Kerngrößen der Handwurzelknochen
und des distalen Unterarmabschnittes bei normalwüchsigen
Kindern von der Geburt bis zur Pubertät.
Arch. Kinderheilk. 80/81, 185 (1927)
40. Pfitzner, W.
Variationen im Aufbau des Handskelettes.
Morph. Arb. v. Schwalbe 4, 347 (1895)
41. Pryor, J.W.
Die bilaterale Symmetrie bei der Ossifikation.
Amer. J. Anat. 58, 87 (1936)
42. Pryor, J.W.
The hereditary nature of variation
in the ossification of bones.
Anat. Rec. 1, 84 (1907)
43. Pryor, J.W.
Differences in the time of development
of centers of ossification in the male and female skeleton.
Anat. Rec. 25, 257 (1923)
44. Pyle, S.I., Mann u.al.
A substitut for skeletal age (Todd)
for clinical use: The Red Graph Method.
J. Pediat. 32, 125 (1948)

45. Pyle, S.I., Reed, R.B., Stuart, H.C.
Patterns of skeletal development in the hand.
J. Pediat. 24, 886 (1959)
46. Pyle, S.I., Stuart, H.C., Cornoni, J., Reed, R.B.
Onsets, completions, and spans of the osseous stage
of development in representative bone growth centers
of the extremities.
Soc. For. Res. in Child Developm., Inc.
(Lafayette, Ind.) (1961)
47. Rambaud, u. Renault,
Origine et Developpement des os.
Paris 1869
48. Ranke, H, v.
Die Ossifikation der Hand unter Röntgenbeleuchtung
Münch. med. Wschr. 45, 1365 (1896)
49. Roche, A.F.
Lateral comparisons of the skeletal
maturity of the human hand and wrist.
Amer. J. Roentgenol. 89, 1272 (1962)
50. Roche, A.F.
A study of skeletal maturation in a group
of Melbourne children.
J. Austr. paediat. 3, 123 (1967)
51. Roche, A.F., and Johnson, J.M.
A comparison between methods of calculating
skeletal age (Greulich-Pyle).
Amer J. phys. Anthropol. 30, 221 (1969)
52. Roche, A.F., Davila, G.H., Eyman, S.L.
A comparison between Greulich-Pyle and Tanner-Whitehouse
assessments of skeletal maturity.
Radiology 98, 273 (1971)

53. Rotch, Th.M.
Chronologic and anatomic age in early life.
J. Amer. Med. Ass. 51, 1197 (1908)
54. Sawtel, R.O.
Ossification and growth of children from
one to eight years of age.
Amer. J. Dis. Child. 37,61 (1929)
55. Schmid, F.
Die Handskelettossifikation als Indikator
der Entwicklung. Ergebn. inn. Med. Kinderheilk.
(N.F.) 1,176 (1949)
56. Schmid, F., Moll, H.
Atlas der normalen und pathologischen Handskelett-
entwicklung.
Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1960
57. Schulte-Brinkmann, W., Konrad, R.M.
Zur Messtechnik der Hand- und Fußwurzelknochen
bei Kindern.
Fortschr. Röntgenstr. 99, 544 (1963)
58. Schulte-Brinkmann, W., Konrad, R.M., Ehlers, F.
Vergleichende Untersuchungen zur linearen und
planimetrischen Messung der Handwurzelknochen.
Fortschr. Röntgenstr. 104, 253 (1966)
59. Siegert, F.
Atlas der normalen Ossifikation der menschlichen Hand.
Fortschr. Röntgenstr. Erg.- Bd.. 47 (1935)
60. Sontag, L.W., Snell, D., and Anderson M.
Rate of appearance of ossification centers from
birth to the age of five years.
Amer. J. Dis. Child. 58, 949 (1939)

61. Stettner, E.
Ossifikation des Handskelettes.
Arch. Kinderheilk. 68, 342 (1920); 69, 27 (1921)
62. Stuart, H.D., and Stevenson, S.S.
In. W.E. Nelson, Textbook of Pediatrics,
7. Auflage, S. 45/46
63. Stuart, H.D., and Vickers, V.
Variations in ossification pattern
observed during first five years.
Amer. J. Dis. Child. 52, 753 (1936)
64. Stuart, H.C., Pyle, S.I., Cornoni, J., Reed, R.B.
Onsets, completions and spans of ossification in
the 29 bone-growth centers of the hand and the wrist.
J. Pediat. 29, 237 (1962)
65. Tanner, J.M., Whitehouse, R.J., and Healy, M.J.R.
Standards for Skeletal Age. A New System for
Estimating Skeletal Maturity from Hand and Wrist
Radiographs with Standards Derived from a Study of
2.600 healthy British Children.
Paris: International Children's Centre 1962
66. Tanner, J.M., Whitehouse, R.H., and Goldstein, H.
A New System for Estimating Skeletal Maturity from
Hand and Wrist Radiographs with Separate Standards
from Carpal and Other Bones.
Paris: International Children's Centre 1972
67. Tanner, J.M., Whitehouse, R.M., Marshall, W.A.,
Healy, M.J.R., Goldstein, H.
Assessment of Skeletal Maturity and Prediction
of Adult Height (TW 2 Method)
London- New York- San Francisco: Academic Press 1975

68. Tanner, J.M.
The assessment of growth and Development in Children.
Arch. Dis. Childh. 27, 10 (1952)
69. Tanner, J.M., Whitehouse, R.H., Takaishi, M.
Standards from Birth to Maturity for Height, Weight,
Height Velocity and Weight-velocity: Britisch Children
1965- I. Arch. J. Dis. Child. 41, 454 (1966)
70. Tanner, J.M., Whitehouse, R.H., Takaishi, M.
Standards from Birth to Maturity for Height, Weight,
Height Velocity and Weight Velocity: Britisch Children 1965
II. Arch. J. Dis. Child. 41, 613 (1966)
71. Todd, T.W.
The roentgenographic appraisalment of skeletal differen-
tiation.
Child. Develop. 1, 298 (1930)
72. Todd, T.W.
Atlas of Skeletal Maturation, St. Louis, Mosby Comp. 1937
73. Vogt, E.C., Vickers, V.S.
Osseons growth and development.
Radiology 31, 441 (1938)
74. Vogt, D.
Wachstum und Krankheit.
Mschr. Kinderheilk. 113, 263 (1965)
75. Vogt, D.
Über den gegenwärtigen Stand der Akzeleration in Bayern.
Arch. Kinderheilk. 159, 14 (1959)
76. Weil , W.B.
Skeletal maturation in juvenile diabetes mellitus.
Pediat. Res. (Basel) 1, 470 (1967)

77. Zampa, G.A., Acheson, R.M.
Skeletal maturation in ovarian dysgenesis and
Turner's syndrom.
Lancet 1961/I, 917

Besonderen Dank schulde ich Herrn Priv. Doz. Dr. Thurmayr und Herrn Dipl. Mathematiker G. Welzl vom Institut für Medizinische Statistik, Dokumentation und Datenverarbeitung der Technischen Universität München dafür, daß sie mir in zuvorkommender Weise die statistische Auswertung meiner Ergebnisse in ihrem Institut ermöglichten und mich mit ihrem fachmännischen Rat unterstützten.

Danken möchte ich auch meiner Frau, die beim Entstehen dieser Arbeit sehr viel Verständnis zeigte und mich beim Zeichnen der Diagramme tatkräftig unterstützte.

LEBENS LAUF

Name: KÜHNEL

Vorname: Franz Xaver

Geboren: 19. Oktober 1945

Geburtsort: Böhmisches-Trübau (CSSR)

Wohnort: 8156 Otterfing, Holzham 2 a

Eltern: Vater: Josef, Fachlehrer, verst. 1967
Mutter: Alice, geb. Dünnebier, Lehrerin

Ehefrau: Johanna, geb. Killer

Kinder: Veronika 1970
Anna 1974
Moritz 1977

Volksschule: Otterfing 1951 - 1956

Gymnasium: Miesbach 1956 - 1965
9 Klassen, Abitur 1965

Bundeswehr: 2 Jahre Zeitsoldat am SanLehrBat München

Studienweg: Beginn Sommersemester 1968 an der Universität München, Medizinische Fakultät
Vorphysikum nach 2 Semestern 1968/69
Physikum nach 5 Semestern 1970
Staatsexamen nach 12 Semestern 1974

Bisherige

berufliche Tätigkeit: -Medizinalassistent an der Inneren
Abteilung des Versorgungskrankenhauses
Bad Tölz von Okt. 74 bis März 75
-Medizinalassistent an der Chirurgischen
Abteilung des Städt. Krankenhauses
München-Harlaching von März 75 bis Jun. 75
-Medizinalassistent an der Röntgen-Abtei-
lung des Städt. Krankenhauses München-
Harlaching von Sept. 75 bis Dez. 75

Seit Februar 1976 Assistenzarzt an der
Anästhesie-Abteilung des Städtischen
Krankenhauses München-Neuperlach

München, 9. März 1978 Franz Xaver Kühnel

